

Aus dem Institut für Klinische Radiologie der Ludwig- Maximilians- Universität

München

Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h. c. Maximilian F. Reiser

**DIE CT-UROGRAPHIE IN
NORMALDOSIS- UND
NIEDRIGDOSISTECHNIK ZUR
EVALUATION DER OBEREN
ABLEITENDEN HARNWEGE**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig- Maximilians- Universität zu München

vorgelegt von

Christoph Degenhart

aus

München

2006

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München**

Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. med. Ullrich G. Mueller- Lisse

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. med. O. Reich

Priv. Doz. Dr. med. J. M. Schmoeckel

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Thomas Meindl

Dekan: Prof. Dr. med. Dietrich Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 27.07.2006

Für Johanna

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	GRUNDLAGEN ZU ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE DER NIEREN UND ABLEITENDEN	
	HARNWEGE	3
1.1.1	<i>Die Niere</i>	<i>3</i>
1.1.2	<i>Die harnableitenden Organe</i>	<i>3</i>
1.1.2.1	Das Nierenbeckenkelchsystem	4
1.1.2.2	Der Harnleiter	4
1.2	ERKRANKUNGEN DES NIERENBECKENKELCHSYSTEMS UND DER HARNLEITER	6
1.2.1	<i>Häufige Ontogenetische Läsionen des Nierenbeckens und der Ureteren</i>	<i>6</i>
1.2.1.1	Kelchdivertikel	6
1.2.1.2	Numerische Ureteranomalien	6
1.2.1.3	Ureterlageanomalien	6
1.2.2	<i>Traumatische Schäden</i>	<i>7</i>
1.2.3	<i>Obstruktive Uropathie, Hydroureter und Hydronephrose</i>	<i>7</i>
1.2.3.1	Ätiologie	8
1.2.3.2	Akute Obstruktion des Ureters	8
1.2.3.3	Chronische Obstruktion des Ureters	9
1.2.4	<i>Urolithiasis</i>	<i>10</i>
1.2.5	<i>Entzündungen</i>	<i>10</i>
1.2.5.1	Unspezifische Entzündungen	10
1.2.5.2	Spezifische Entzündungen	11
1.2.6	<i>Tumore</i>	<i>11</i>
1.2.6.1	Epitheliale Tumore	11
1.2.6.2	Nichtepitheliale Tumoren	12
1.2.6.3	Sekundäre Tumoren	12
1.3	TECHNIK DER COMPUTERTOMOGRAPHIE	13
1.3.1	<i>Allgemeine Erläuterungen</i>	<i>13</i>
1.3.2	<i>Die Spiral- CT</i>	<i>13</i>
1.3.3	<i>Die Mehrzeilen- Spiral- CT</i>	<i>14</i>
1.3.4	<i>Bildrekonstruktion</i>	<i>15</i>
1.3.5	<i>Definition der Aufnahmeschicht</i>	<i>16</i>

1.3.6	<i>Effektive Schichtdicke</i>	16
1.3.7	<i>Tischvorschub und Pitch- Faktor</i>	17
1.3.8	<i>Bildmatrix</i>	17
1.3.9	<i>CT- Werte</i>	18
1.3.10	<i>Fenstertechnik und Grauwertskala</i>	19
1.3.11	<i>Dosismessgrößen in der Computertomographie</i>	19
1.3.11.1	CT- Dosisindex (CTDI)	19
1.3.11.2	Dosislängenprodukt (DLP)	20
1.3.11.3	Effektivdosis (E)	20
1.4	UNTERSUCHUNGSTECHNIKEN DES OBEREN HARNTRAKTES	21
1.4.1	<i>Sonographie</i>	21
1.4.2	<i>Projektionsradiographische Methoden</i>	21
1.4.2.1	Abdomenübersichtsaufnahme	21
1.4.2.2	Ausscheidungsurogramm	22
1.4.2.3	Röntgenologische Spezialverfahren	23
1.4.3	<i>Schnittbildverfahren</i>	24
1.4.3.1	Nativ- CT des Abdomens	24
1.4.3.2	Niedrigdosis- Nativ- CT des Abdomens	24
1.4.3.3	CT-Urographie (CTU)	25
1.4.3.4	Magnetresonanztomographie der ableitenden Harnwege (Magnetresonanztomographie)	26
2	ZIELSETZUNG	27
3	PATIENTEN, MATERIAL UND METHODE	28
3.1	PATIENTEN	28
3.1.1	<i>Voraussetzungen für die Durchführung einer CTU</i>	28
3.1.2	<i>CTU- Protokolle</i>	29
3.1.3	<i>Ein- und Ausschlusskriterien</i>	29
3.2	MATERIAL UND METHODE	30
3.2.1	<i>CT- Untersuchungsprotokolle</i>	30
3.2.1.1	Native, portalvenöse und nephrographische Untersuchung	30
3.2.1.2	CT-Urographie	30
3.2.2	<i>Vorbereitung der Patienten</i>	31
3.2.3	<i>Computertomographische Untersuchung</i>	32

3.2.4	<i>Bildnachbearbeitung</i>	32
3.2.5	<i>Bildanalyse</i>	32
3.2.5.1	Definition der Harnleitersegmente.....	33
3.2.5.2	Definition der Kriterien Dilatation, Kompression und innere Obstruktion.....	34
3.2.5.3	Referenzdaten	35
3.2.5.4	Analyse der CT-Urographien.....	35
3.2.6	<i>Ermittlung der Strahlenexposition</i>	36
3.2.7	<i>Statistische Auswertung</i>	37
4	ERGEBNISSE	39
4.1	ANALYSE DES PATIENTENGUTS	39
4.1.1	<i>Altersstruktur</i>	39
4.1.2	<i>Untersuchungsanlässe</i>	40
4.1.3	<i>Diagnosen</i>	41
4.2	REFERENZERGEBNISSE.....	42
4.2.1	<i>Anzahl der in die Studie eingeschlossenen Segmente</i>	42
4.2.2	<i>Auswertung der Krankenakten</i>	43
4.2.3	<i>Kriterium Dilatation</i>	44
4.2.3.1	Niedrigdosis- Patienten	44
4.2.3.2	Normaldosis- Patienten	44
4.2.4	<i>Kriterium Kompression</i>	45
4.2.4.1	Niedrigdosis- Patienten	45
4.2.4.2	Normaldosis- Patienten	45
4.2.5	<i>Kriterium innere Obstruktion</i>	45
4.2.6	<i>Einzelfallbeschreibungen</i>	47
4.2.6.1	Niedrigdosispatienten: Einzelfallbeschreibungen unter Miteinbeziehung der Krankenakten	47
4.2.6.2	Normaldosispatienten: Einzelfallbeschreibungen unter Miteinbeziehung der Krankenakten	48
4.3	ERGEBNISSE DER CT-UROGRAPHIE.....	50
4.3.1	<i>Kriterium Dilatation</i>	50
4.3.1.1	Normaldosis- CTU	50
4.3.1.2	Niedrigdosis- CTU	50
4.3.1.3	Dilatation: Fallbeispiele	52
4.3.2	<i>Kriterium Kompression</i>	53

4.3.2.1	Normaldosis- CTU	53
4.3.2.2	Niedrigdosis- CTU	53
4.3.2.3	Kompression: Fallbeispiele	54
4.3.3	<i>Kriterium innere Obstruktion</i>	56
4.3.3.1	Normaldosis-CTU	56
4.3.3.2	Niedrigdosis- CTU	58
4.3.4	<i>Einflussfaktoren auf die Beurteilbarkeit der oberen ableitenden Harnwege</i>	59
4.3.4.1	Nierenfunktion	60
4.3.4.2	Laterolateraler, anteroposteriorer Durchmesser und Umfang des Abdomens .	60
4.3.4.3	Abhängigkeit von der applizierten Dosis	61
4.3.4.4	Abhängigkeit von der NaCl- Infusion	62
4.3.4.5	Abhängigkeit von der Delay- Zeit	63
4.3.4.6	Delay	63
4.3.5	<i>Applizierte Strahlendosis</i>	66
4.3.5.1	Normaldosis- CTU:	66
4.3.5.2	Niedrigdosis- CTU	66
4.3.5.3	Effektivdosis der gesamten Untersuchung:	66
5	DISKUSSION	68
5.1	LITERATURVERGLEICH: ALTERNATIVE PROTOKOLLE DER CT-UROGRAPHIE	71
5.2	LITERATURVERGLEICH: STRATEGIEN ZUR VERBESSERUNG DER HARNTRAKTFÜLLUNG- UND KONTRASTIERUNG	73
5.3	LIMITATIONEN DER CT-UROGRAPHIE	76
5.3.1	<i>Strahlenexposition durch die CT-Urographie</i>	76
5.3.2	<i>Strahlenexposition im Rahmen dieser Arbeit</i>	77
5.3.3	<i>Nephrotoxizität des Kontrastmittels</i>	78
5.3.4	<i>Das Problem unzureichender Harntraktfüllung- und kontrastierung</i>	79
5.4	LIMITATIONEN DER STUDIE	80
5.4.1	<i>Geringe Fallzahl des Kriteriums „innere Obstruktion“</i>	80
5.4.2	<i>Validierung der Befunde</i>	80
5.4.3	<i>Zusammenfassung der Gruppen Normaldosis- CTU mit Kochsalzinfusion und Normaldosis- CTU ohne Kochsalzinfusion</i>	81
5.4.4	<i>Ungleiche Verteilung der dilatierten Segmente auf die Niedrigdosis- bzw. Normaldosis- CTU- Gruppe</i>	81
5.4.5	<i>Längere Delay- Zeit der Niedrigdosis- CTU</i>	81

	<i>5.4.6 Das Kriterium der Beurteilbarkeit</i>	<i>82</i>
	<i>5.4.7 Genauigkeit der Dosisberechnungen</i>	<i>82</i>
6	ZUSAMMENFASSUNG	83
7	ANHANG	85
8	LITERATURVERZEICHNIS	87
9	DANKSAGUNGEN	100
10	LEBENS LAUF	101

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1-1 Abtastprinzip der Spiral- CT.....	14
Abbildung 1-2 Pitch- Faktor.	17
Abbildung 1-3 Die Bildpunkte der CT- Matrix (Voxel).	18
Abbildung 1-4 Hounsfield- Skala.	18
Abbildung 3-1 Anatomischen Segmente des oberen Harntrakts in der CT-Urographie.	33
Abbildung 4-1 Untersuchungsanlässe. Niedrig- und Normaldosis CTU.....	40
Abbildung 4-2 Kriterium Dilatation: Sensitivität und Spezifität	51
Abbildung 4-3 Stauung des rechten Ureters und Nierenbeckens.....	52
Abbildung 4-4 Dilatation des linken mittleren Ureters.....	52
Abbildung 4-5 Kompression Sensitivität und Spezifität.....	54
Abbildung 4-6 Ausgeprägte Lymphknoten- Bulks retroperitoneal.....	54
Abbildung 4-7 Kompression des Nierenbeckenkelchsystems und proximalen Harnleiters	55
Abbildung 4-9 Dilatierter Ureter.....	55
Abbildung 4-10 Obstruktion innen: Inflammatorisch verdickte Kelchwand.....	56
Abbildung 4-11 Narbig- streifige Verdickung des rechten Nierenbeckenkelchsystems und des Ureters.....	57
Abbildung 4-12 Entzündliche Verdickung von Harnleiter und Nierenbecken . Harnstauung.	57
Abbildung 4-13 Abszedierung und Nierenperforation bei Nephrolithiasis.....	58
Abbildung 4-14 Beurteilbarkeit: Normaldosis- CTU mit NaCl vs. Niedrigdosis- CTU mit NaCl. Delay zwischen 5 und 20 Minuten.....	61
Abbildung 4-15 Beurteilbarkeit: Normaldosis- CTU mit NaCl vs. Normaldosis- CTU ohne NaCl 5 bis 20 min Delay.....	62
Abbildung 4-18 Niedrigdosis- CTU mit Kochsalzinfusion: Anteil beurteilbarer Harnleitersegmente in Abhängigkeit von der Delay- Zeit.	64
Abbildung 4-19 Normaldosis- CTU mit Kochsalzinfusion: Anteil beurteilbarer Harnleitersegmente in Abhängigkeit von der Delay- Zeit.	65

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS UND BEGRIFFSDEFINITIONEN

anterior: nach vorne zu

a.p.: anteroposteriorer Strahlengang

AÜS: Abdomenübersichtsaufnahme

axiale Ebene: Horizontalebene, von einer Körperseite zur anderen

cm: Zentimeter

CT: Computertomographie

CTU: Computertomographie- Urogramm

dist.: distal

distal: vom Rumpfansatz weg

dorsal: rückenwärts

g: Gramm

Gy: Gray

HL: Harnleiter

I: Iod

i.S.: im Serum

i.v. : intravenös

IVU: Urographie mit intravenös verabreichtem Kontrastmittel, i.v.-Urogramm

kaudal: steißwärts

kranial: schädelwärts

lat.: lateinisch

lateral: von der Mitte weg

medial: zur Mitte, auf die Medianebene zu

mg/dl: Stoffkonzentration in Milligramm pro Deziliter

MRT: Magnetresonanztomographie

MSCT: eng.: multislice computed tomography. Multidetektor- Spiral- Computertomographie, Syn.: Mehrzeilen- Spiral- Computertomographie.

CTU: Computertomographie- Urogramm

ml: Milliliter

n: Anzahl

NBKS: Nierenbeckenkelchsystem

Kap.: Kapitel

klin.: klinisch

koronare Ebene: Frontalebene, parallel zur Stirn verlaufende Ebene

OAH: Obere ableitende Harnwege

P: Pitch

TF: engl.: table feed: Tischvorschub

posterior: nach hinten zu

prox.: proximal

proximal: auf den Ansatz zu

RUP: retrograde Ureteropyelographie

sagittale Ebene: in Pfeilrichtung, von der Hinter- zur Vorderfläche des Körpers

SC: Schichtkollimierung

s.u.: siehe unten

Syn.: Synonym

u. a.: unter anderem

V.a.: Verdacht auf

ventral: bauchwärts

Z.n.: Zustand nach

1 Einleitung

Für eine umfassende, radiologische Evaluation der Nieren und ableitenden Harnwege sind Untersuchungen in verschiedenen Kontrastmittelphasen erforderlich. Neben einer nativen Untersuchung (ohne Kontrastmittel) werden nephrographische Aufnahmen benötigt, die eine optimale Kontrastierung des Nierenparenchyms gewährleisten. Die bestmögliche Darstellung der ableitenden Harnwege bieten verzögerte, während der Kontrastmittel- Ausscheidungsphase aufgezeichnete Aufnahmen (60). Dank der rasanten Weiterentwicklung der Computertomographietechnik von der Einzelschicht- CT über die Spiral- CT hin zur Mehrzeilen- Spiral- CT ist es heute möglich, innerhalb kürzester Zeit Volumendatensätze mit hoher Auflösung zu akquirieren und die zu untersuchende Körperregion in mehreren Kontrastmittelphasen abzubilden. In den letzten Jahren wurden damit die technischen Voraussetzungen für die Entwicklung einer neuartigen CT- Untersuchungstechnik geschaffen: In Anlehnung an das altgediente i.v.- Urogramm entstand das Konzept der auf Schnittbildern basierenden CT- Urographie.

Die Computertomographie stellt derzeit die Methode der Wahl zur Abklärung einer Urolithiasis dar. Mehrere Studien haben übereinstimmend die diagnostische Überlegenheit der nativ- CT des Abdomens gegenüber konventionellen Abdomenübersichtsaufnahmen und der Ausscheidungsurographie belegt (7,26,28,46,61,74,78-80). Auch in der Diagnostik von Nierentumoren und eventueller metastatischer Absiedelungen hat die Mehrzeilen- Spiral- CT sich vor geraumer Zeit etabliert (2,83,86). Damit hat die Mehrzeilen- Spiral- CT bereits auf weiten Gebieten die projektionsradiographische, mehrphasige Ausscheidungsurographie (Syn.: i.v.- Urogramm) als Methode der Wahl abgelöst. Einzig die nichtinvasive Abklärung urothelialer Läsionen stellte bis vor kurzem noch eine Domäne der Ausscheidungsurographie dar (20,38). Neuere Untersuchungen, die sich mit CT- urographischen Spätaufnahmen der kontrastmittelgefüllten Ureteren befassen, beginnen jedoch das Ausscheidungsurogramm auch in dieser Hinsicht in Frage zu stellen (4,5,51,70).

Eine maßgebende Beschränkung erfährt die CT-Urographie allerdings durch die hohe Strahlenexposition des Patienten, die mit einer multiphasischen Untersuchung einhergeht. Nawfel et al. (57) konnten zeigen, dass die CT-Urographie mit einer etwa 1,5-fach höheren effektiven Dosis im Vergleich zu einem Ausscheidungsurogramm behaftet ist, Caoili et al. (4) ermittelten Effektivdosen, die sogar dem 4- fachen entsprachen.

Eine Möglichkeit der Dosisreduktion besteht in der Senkung der applizierten Dosis pro CT-Schicht (Niedrigdosis- CT). Die Anwendung einer Niedrigdosis- CT kommt immer dann in Frage, wenn ein hoher Detailkontrast zwischen der untersuchten Struktur und dem umgebenden Gewebe besteht. Sie ist bereits Routine in CT- Untersuchungen der Lungen, des Skelettsystems und in der nativ- CT zur Abklärung akuter Flankenschmerzen (36,37,40,47,52,64,84). Aufgrund des hohen Kontrastes zwischen kontrastmittelgefülltem Ureter und dem umgebenden, weniger kontrastreichen Weichgewebe bietet sich auch für die CT –Urographie die Anwendung eines Niedrigdosisverfahrens an. Zur Ermittlung des Verhältnisses zwischen maximal möglicher Dosisreduktion bei zugleich optimaler Ureterkontrastierung wurde an unserem Institut bereits eine Phantomstudie durchgeführt und in Zusammenarbeit mit Technikern der Firma Philips Medical Systems ein für das verwendete CT- Gerät optimiertes Niedrigdosisprotokoll entwickelt.

Diese Arbeit setzt sich mit der Frage auseinander, welche Aussagekraft CT- urographische Untersuchungen in normaler sowie in dosisreduzierter Technik bezüglich pathologischer Veränderungen der ableitenden Harnwege aufweisen. Zu diesem Zweck wurden retrospektiv in Normaldosis- oder Niedrigdosistechnik angefertigte Ausscheidungsaufnahmen der ableitenden Harnwege von 92 Patienten hinsichtlich der Kriterien Dilatation, innere Obstruktion und Kompression evaluiert.

1.1 Grundlagen zu Anatomie und Physiologie der Nieren und ableitenden Harnwege

1.1.1 Die Niere

Die paarig angelegten Nieren (lat. Ren; die Niere) sind beim Erwachsenen je 120 bis 300 g schwer, 10 bis 12 cm lang, 5 bis 6 cm breit und etwa 4 cm dick. Sie liegen retroperitoneal beiderseits der Wirbelsäule. Die oberen Nierenpole reichen in etwa bis zum Oberrand des letzten Brustwirbels, die unteren Pole bis zum 3. Lendenwirbel, wobei bei 65% der Menschen die rechte Niere um zirka eine halbe Wirbelhöhe niedriger liegt als die linke. An den konkaven medialen Rändern beider Nieren befinden sich die Nierenpforten (lat. Hilum renale). Durch sie treten die Nierengefäße (Aa et Vv. renales sin. et dex.) und je ein Nierenbecken ein bzw. aus. Die Längsachsen der Nieren verlaufen ungefähr mit der des Körpers, mit leichter Konvergenz nach kranio- dorsal. Jede Niere wird von einer Nierenkapsel (Capsula fibrosa renis) aus derben Kollagenfasern umgeben, daran anschließend von einer Fettkapsel (Capsula adiposa renalis), welche auch die den oberen Nierenpolen aufsitzenden Nebennieren mit einbettet. Die äußerste Hülle wird durch den Faszien sack, die Fascia renalis (klin.: Gerota- Faszie) gebildet.

In Längs- und Querschnitten durch die Niere ist ihre Gliederung in Rinde und Mark erkennbar. Die etwa 1 cm breite Nierenrinde liegt allseits unmittelbar unter der Nierenkapsel und bildet mehrere um die Markpyramiden angelegte, hilumwärts gerichtete Ausläufer, die bis an das Nierenbecken heranreichen. Das Mark besteht je Niere aus 5 bis 11 Markpyramiden, deren Spitzen (Papillen) in die Kelche (Calices) des Nierenbeckens ragen (45).

1.1.2 Die harnableitenden Organe

Von kranial nach kaudal zählen zu den harnableitenden Organen: das Nierenbecken (Pelvis renalis), der Harnleiter (Ureter), die Harnblase (Vesica urinaria) und die Harnröhre.

Es handelt sich um Hohlgorgane mit einer gemeinsamen Grundstruktur des Wandaufbaus. Die jeweilige Innenwand ist mit einer für diese Organe typischen Schleimhaut ausgekleidet, die aus Übergangsepithel (Urothel) und einer darunter liegenden Lamina propria besteht. Nach außen hin folgt eine zweischichtige, unterschiedlich dicke muskuläre Wand, deren innerer Anteil eher längs und äußerer Anteil eher quer verläuft. Die Einbindung in die Umgebung erfolgt durch adventitielles Bindegewebe, das teils von Peritoneum überzogen ist (Vorderwand des Ureters, Hinterwand der Harnblase) (75).

Die folgenden Erläuterungen beschränken sich auf die oberen ableitenden Harnwege, welche das Nierenbecken und die Ureteren umfassen.

1.1.2.1 Das Nierenbeckenkelchsystem

Jede Niere besitzt 4 bis 12, durchschnittlich 8 Nierenkelche (Calices renales minores), die sich zu 3 bis 4 größeren Kelchen (Calices renales majores) und schließlich im Sinus renalis zum Nierenbecken (Pelvis renalis) vereinigen (45,75). Die Nierenkelche sind durch Muskel- und Bindegewebszüge im Nierengewebe verankert und umfassen für gewöhnlich je eine Nierenpapille. Häufig kommt es jedoch vor, dass zwei benachbarte Papillen von nur einem Kelch umgriffen werden (41). Aufgabe der Calices ist es, den an den Papillen austretenden Harn aufzunehmen und in das Nierenbecken weiterzuleiten. Die Vereinigung der Nierenkelche zum Nierenbecken zeigt individuelle Unterschiede. Die Nierenkelche können entweder kurz sein und in ein weites Nierenbecken einmünden (ampulläres Nierenbecken) oder gestielt und lang gestreckt in ein kleines Nierenbecken übergehen (dendritisches Nierenbecken), wobei Mischformen am häufigsten vorkommen (41). Das 3 bis 8 ml Harn fassende Nierenbecken verjüngt sich zum Nierenhilus hin und geht in den Harnleiter (Ureter) über, der den Harn in kleinen Portionen in die Harnblase befördert (45). Der Harntransport im Nierenbeckenkelchsystem erfolgt durchaus nicht passiv. Vielmehr wird der Harn durch peristaltische Wellen von den Kelchen zu den Harnleitern befördert. Manche Autoren sprechen in diesem Zusammenhang auch von einem Sphinktersystem des Nierenbeckenkelchsystems, anderen Autoren zufolge jedoch seinen echten, morphologisch von der übrigen Wandmuskulatur abgrenzbare Sphinkteren nicht nachweisbar (41,45).

1.1.2.2 Der Harnleiter

Der Harnleiter (Ureter) ist ein 25 bis 30 cm langes Hohlorgan mit einem Durchmesser von etwa 4 bis 7 mm. Er verbindet beiderseits die Nierenbecken mit der Harnblase. Durch 5 bis 7 in Längsrichtung verlaufende Schleimhautfalten, die bei Dehnung verstreichen, erhält das Lumen des Ureters im Querschnitt ein sternförmiges Aussehen (41,45). In seinem Verlauf wird der Harnleiter in eine Pars abdominalis und eine Pars pelvina unterteilt. In seiner pars abdominalis verläuft er auf der Faszia des M. psoas, bedeckt von Peritoneum, annähernd senkrecht nach unten. Auf beiden Seiten werden die Ureteren von den Vasa testicularia bzw. ovarica überkreuzt. Der linke Ureter seinerseits überkreuzt die Aufteilungsstelle der A. iliaca communis sinistra, der rechte dagegen die A. iliaca externa dextra. An dieser Stelle treten die Harnleiter in das kleine Becken ein. Zunächst ziehen sie dicht unter dem Peritoneum an den seitlichen Beckenwänden entlang, bevor sie etwa auf Höhe der Spinae ischiadicae nach vorne medial auf die Harnblase zu konvergieren. Beim Mann erreichen die Ureteren etwas oberhalb der Samenblasen die hintere seitliche Wand der Samenblase und werden hier von den Ductus deferentes überkreuzt. Bei der Frau verläuft der Harnleiter auf seinem Weg von der seitlichen Beckenwand zur Harnblase an der Basis des Lig. Latum uteri, überkreuzt von der A. uterina. Bei Mann und Frau gleichermaßen durchsetzen die Harnleiter die

Harnblasenwand schräg von hinten lateral nach vorne medial, bevor sie mit ihren Mündungsostien in den seitlichen Ecken des Trigonum vesicae in der Harnblase enden (41). Normalerweise sind die Ureterostien geschlossen. Sie öffnen sich nur, wenn durch die Ureterperistaltik Harn in die Blase abgegeben wird (1 bis 4 mal pro Minute) (45). Die Fortleitung der peristaltischen Welle vom Harnleiter auf die Trigonummuskulatur der Harnblase führt zu einem aktiven Wiederverschluss der Ostien. Zudem dient der langstreckige Verlauf des Ureters durch die Harnblasenwand der Vermeidung eines vesikoureteralen Reflux. Durch den Innendruck der Blase wird das Lumen der Pars intramuralis des Ureters komprimiert und abgedichtet (41).

Von besonderer klinischer Bedeutung sind die drei physiologischen Engstellen des Harnleiters. Die erste Ureterenge findet sich am Übergang vom Nierenbecken in den Ureter, die zweite an der Kreuzungsstelle mit den Iliakalgefäßen. Die dritte und zugleich engste Stelle entsteht am Durchtritt des Ureters durch die Blasenwand (41).

Durch die Ureterperistaltik erfolgt ein gerichteter Transport des Harns vom Nierenbecken zur Blase. Jeder Harnleiterkontraktion geht eine Membrandepolarisation der glatten Muskelzellen voraus. Die Depolarisationswellen werden durch einen „Schrittmacher“ im Nierenbecken ausgelöst und führen zu einer koordinierten Kontraktion der Uretermuskulatur. Die Frequenz der Harnleiterperistaltik ist dabei proportional zur Menge des produzierten Urins. Wahrscheinlich werden Depolarisationen und die nachfolgenden Kontraktionswellen über das Maß der Wanddehnung des Nierenbeckens ausgelöst. Dabei ist die Peristaltik des einen Harnleiters unabhängig von der des anderen. Zwischen der Passage zweier Urinportionen ist der Ureter normalerweise leer, so dass beispielsweise in i.v.-Urographien Teile des Harnleiters nicht dargestellt sind. Andererseits ist es möglich, dass bei maximaler Diurese der Ureter so rasch komplett mit Harn gefüllt ist, dass einzelne Kontraktionswellen nicht mehr zustande kommen. Der Harnleiter stellt sich dann auf seiner gesamten Länge kontrastmittelgefüllt dar (69).

1.2 Erkrankungen des Nierenbeckenkelchsystems und der Harnleiter

1.2.1 Häufige Ontogenetische Läsionen des Nierenbeckens und der Ureteren

1.2.1.1 Kelchdivertikel

Mit einer Häufigkeit von 4,5: 1000 Ausscheidungsurogramme lassen sich Kelchdivertikel nachweisen. Es besteht keine Alters- oder Geschlechtsdisposition. Morphologisch handelt es sich um zystische Gebilde im Hilusgebiet der Kelche, die durch dünnlumige Gänge mit den Kelchen in Verbindung stehen. Prädilektionsstellen sind die Nierenpole. Die häufigsten Komplikationen sind rezidivierende Infekte und die Entstehung von Konkrementen (75).

1.2.1.2 Numerische Ureteranomalien

1.2.1.2.1 Doppeltes Nierenbecken

Bei etwa 10% aller Personen und in ca. 80% unilateral lässt sich ein doppeltes Nierenbecken nachweisen. Es ist ohne Krankheitswert und wird als Normvariante angesehen. Das doppelte Nierenbecken entsteht bei inkompletter Penetranz durch eine autosomal dominant vererbte Ureterknospenteilung. Bei seinem Eintritt in die Niere teilt sich das Nierenbecken und bildet zwei Hauptkelche (75).

1.2.1.2.2 Ureter duplex und fissus

Beim Ureter duplex handelt es sich um eine komplette Harnleiterduplikatur mit zwei getrennten Nierenbeckenkelchsystemen in der Niere und zwei Ureterostien in der Blase (75). Beim Ureter fissus (oder bifidus) existieren ebenfalls zwei getrennte Nierenbeckenkelchsysteme, die ableitenden Ureteren jedoch vereinigen sich auf ihrem Weg zwischen Pyelon und Harnblase (42). Diese beiden Formen der Harnleiterduplikation sind die häufigsten und kommen mit einer Inzidenz von 0,8% vor, wobei Frauen häufiger betroffen sind. In 15- 40% der Fälle liegt die Anomalie bilateral vor (42). Der Ureter duplex ist häufig mit einem vesikoureteralen Reflux vergesellschaftet, der vor allem den Ureter betrifft, der den kaudalen Nierenanteil drainiert, weil dessen Verlauf durch die Blasenwand kürzer ist (75). Meist bleiben Harnleiterduplikationen symptomlos, in manchen Fällen manifestieren sie sich jedoch mit Zeichen eines Harnwegsinfektes, einer Urosepsis oder Inkontinenz (42,65).

1.2.1.3 Ureterlageanomalien

1.2.1.3.1 Ovarial- Venen- Syndrom

Das Ovarial- Venen- Syndrom entsteht durch Variationen im Verlauf der rechten (in extrem seltenen Fällen auch linken) V. ovarica. Am häufigsten besteht ein gemeinsamer Verlauf der rechten V. ovarica und des rechten mittleren Ureters in einer gemeinsamen Bindegewebsscheide.

Vor allem während der Schwangerschaft kommt es über eine Hyperämie der Venen oder Thrombosen und Thrombophlebitiden zu Ureterstenosen oder Obstruktionen. Das Ovarial-Venen- Syndrom findet sich mit einer Häufigkeit von 2,5: 1000 Routineurogrammen (75).

1.2.1.3.2 Retrokavaler Ureter

Bei 1: 1500 Autopsien, unter Bevorzugung des männlichen Geschlechts, verläuft der rechte Ureter hinter der V. cava inferior, wobei das Nierenbecken und der kraniale Ureter in J- Form verändert sind. Komplikationen eines retrokavalen Ureters sind die Ausbildung eines Hydroureters bzw. einer Hydronephrose (75).

1.2.2 Traumatische Schäden

Am häufigsten kommt eine Ruptur des Nierenbeckens in Kombination mit Rupturen des Nierenparenchyms im Rahmen von Verkehrsunfällen und Stürzen zustande. Daneben können unsachgemäße retrograde Katheterisierung und penetrierende Verletzungen das Nierenbeckenkelchsystem traumatisieren (75).

Die Mehrzahl der Ureterrupturen durch äußere Gewalteinwirkung geht auf Schussverletzungen zurück. Selten kommt es bei nicht penetrierenden Verletzungen zu Ureterläsionen, z.B. durch Knochenfragmente im Rahmen schwerer Skelettverletzungen. Eine wesentliche Ursache für Verletzungen der Ureteren stellen chirurgische Eingriffe dar, vor allem wenn sie im Retroperitoneum und Becken stattfinden, wie es z.B. bei Kolonresektionen, Hysterektomien oder umfangreichen Operationen an den Adnexen der Fall ist. Bei 9,3 bis 10,9% der Hysterektomien nach Wertheim kommt es zu Ureterläsionen (75).

1.2.3 Obstruktive Uropathie, Hydroureter und Hydronephrose

Der Begriff obstruktive Uropathie bezeichnet jedes komplette oder partielle Abflusshindernis des Urins auf jedem Niveau vom Nierenkelch bis zur Harnröhre. Derartige Abflusshindernisse können vielfältige, von Lokalisation, Geschlecht und Lebensalter abhängige Ursachen haben. Folge der obstruktiven Uropathie ist eine Hohlorganerweiterung, die den Ureter (Hydroureter) und das Nierenbeckenkelchsystem betreffen kann. Unter Atrophie des Nierengewebes ist die Entstehung einer Hydronephrose mit irreversibler Dilatation von Nierenbecken und Nierenkelchen möglich (30).

1.2.3.1 Ätiologie

Harnabflussstörungen des Ureters und Nierenbeckenkelchsystems werden häufig durch Konkreme verursacht. Daneben können auch Blutgerinnsel und primäre Uretertumoren sowie Raumforderungen der Nachbarschaft das Ureterlumen komprimieren und obstruieren. Insbesondere kommen Zervixkarzinome, Ovarialkarzinome, Karzinome des Corpus uteri, Dickdarmkarzinome und retroperitoneale Tumoren wie maligne Lymphome, Liposarkome und Rhabdomyosarkome in Betracht. Auch eine retroperitoneale Fibrose (M. Ormond), Strahlenfibrose, oder ein Aorten- bzw. Iliakalaneurysma kann den Ureter affektieren.

Im Bereich des unteren Harntrakts können beispielsweise vernarbte Ureterostien, ein vesikoureteraler Reflux, Blasentumoren und Erkrankungen der Urethra zu Abflussstörungen der oberen ableitenden Harnwege führen.

Ein Harnstau muss jedoch nicht in jedem Fall mit einer Lumeneinengung verbunden sein: Aus Entwicklungsstörungen, Entzündungen oder neuromuskulären Erkrankungen (Spina bifida, Paraplegie, multiple Sklerose) kann eine gestörte Peristaltik der Nierenbecken- und Uretermuskulatur resultieren, mit der Folge eines behinderten Urintransports (75).

1.2.3.2 Akute Obstruktion des Ureters

Eine akute Obstruktion des Ureters, ausgelöst beispielsweise durch ein Konkrement oder Blutgerinnsel, führt nahezu unverzüglich zu einem Anstieg des Harndrucks proximal der Obstruktion von normal 6- 12 mmHg auf 30- 70 mmHg. Nach einem temporären Anstieg folgt kurz darauf ein Abfall von Nierendurchblutung, glomerulärer Filtrationleistung und Konzentrationsfähigkeit der Niere. Die Peristaltik von Nierenbeckenkelchsystem und Ureter proximal der Obstruktion nimmt ab, mit konsekutiver Erweiterung der Hohlorgane. Auch bei kompletter akuter Obstruktion kommt es nicht sofort zu einer Dilatation, erst ein lang andauernder Druckanstieg führt zu einer ausgeprägten Dilatation. Ist die Obstruktion innerhalb weniger Tage behoben, normalisieren sich Niere und Harnleiter für gewöhnlich sowohl unter physiologischen wie auch anatomischen Aspekten (69,75).

1.2.3.3 Chronische Obstruktion des Ureters

Eine länger bestehende Druckerhöhung führt zu einer zunehmenden Reduktion der Nierendurchblutung und glomerulären Filtration, bis unter Atrophie der Niere die Urinproduktion völlig versiegt. Dabei ist nicht geklärt, in wie weit die Parenchymatrophie eine Druckatrophie ist oder aber die Folge der Minderdurchblutung. Bei persistierender kompletter Harnstauung muss davon ausgegangen werden, dass nach 36 Stunden 15% der Nephren die Filtration vollständig einstellen, wobei der Ausfall von den übrigen Nephren kompensiert wird. Nach 7 Tagen bleibt eine dauerhafte Reduktion der Kreatininclearance, nach 40 Tagen ist eine Erholung nicht mehr möglich (69,75). Infolge des Parenchymschwunds resultiert auf der betroffenen Seite eine Hydronephrose (Syn.: Harnstauungsniere, Wassersackniere) mit irreversibler Erweiterung des Nierenbeckens und der Nierenkelche (30). Im Autopsiegut werden bei Männern in 3,9% und bei Frauen in 3,6% der Fälle Hydronephrosen gefunden. Im Alter zwischen dem 20. und 60. Lebensjahr überwiegen die Frauen infolge schwangerschaftsbedingter, geburtshilflicher und gynäkologischer Komplikationen, dagegen sind jenseits des 60. Lebensjahres aufgrund von Prostataerkrankungen mehr Männer betroffen.

Entzündungen	Tuberkulose, Schistosomiasis, M. Crohn, Abszesse, Pelvic inflammatory disease
Tumore	Primäre Uretertumoren, Retroperitoneale Tumoren, Lymphadenopathie, Metastasen
Veränderungen des unteren Harntraktes	Blasentumor, Neuropathische Blase, Entzündungen der Blase, Benigne Prostatahypertrophie und Prostatakarzinom, Obstruktionen der Urethra
Sonstige Ursachen	Ovarial- Venen- Syndrom, Retrokavaler Ureter, Konkrement, Aneurysma der A. iliaca, Retroperitoneale Fibrose, Endometriose, Lymphozele, Urinom, Schwangerschaft, Trauma, u. a.

Tabelle 1-1 Ätiologie chronischer Ureterobstruktionen (nach: Textbook of Uroradiology (69))

1.2.4 Urolithiasis

Bei der Urolithiasis (Syn.: Harnsteinleiden) handelt es sich um eine durch Konkrementbildung in den ableitenden Harnwegen (75) bedingte Erkrankung. Die Steinbildung ist Folge einer Übersättigung des Urins mit harnsteinbildenden Substanzen und damit verbundener vermehrter Kristallisation. Die Ätiologie der Urolithiasis ist vielfältig und umfasst neben einer genetischen Prädisposition auch Ernährungs- und Lebensgewohnheiten, sowie endokrinologische und metabolische Faktoren (3,67). Vor allem in den Wohlstandsländern und in gewissen, zumeist klimatisch heißen geographischen Regionen stellt das Harnsteinleiden eine sehr häufige Krankheit dar. Die Prävalenz beträgt in Skandinavien und in den USA bis zu 15% (Ljunghall 1987; Vahlensieck et al. 1982). Waren früher hauptsächlich Männer betroffen, so zeigen neuere Untersuchungen eine Angleichung des Geschlechtsverhältnisses auf nahezu 1: 1 (3). Steinanalysen konnten zeigen, dass am häufigsten kalziumhaltige Steine vorkommen (Kalziumoxalat, Kalziumphosphat und Mischsteine aus Kalziumoxalat/Kalziumphosphat). Sie stellen einen Anteil von 79%. Zu je ca. 10% finden sich Harnsäure- und Infekt- (Struvit-)steine, Zystinsteine und andere stellen Raritäten dar (Leusmann et al. 1990; Scholz et al. 1979). Kalziumhaltige Steine sind auf nativen Röntgenaufnahmen in der Regel gut sichtbar, Urat- und Zystinsteine dagegen kaum oder gar nicht. Der Nachweis derartiger Konkreme im konventionellen Ausscheidungsurogramm erfordert die Verwendung von Kontrastmittel, wobei sich dann an Position des Steins ein Füllungsdefekt darstellt (3,14).

1.2.5 Entzündungen

1.2.5.1 Unspezifische Entzündungen

Bakterielle Infekte stellen die häufigste Ursache entzündlicher Erkrankungen der ableitenden Harnwege dar. Der Harnwegsinfekt ist die häufigste nosokomiale bakterielle Infektion des Menschen. In der Regel entstammen die Erreger der Darmflora, in 2/3 bis 3/4 aller Fälle handelt es sich um *E. coli*. Auch Infektionen mit Parasiten, Pilzen, oder Viren können auslösend für entzündliche Harnwegserkrankungen sein. Mechanische Faktoren wie Harnwegskatheter, Abfluss-Störungen durch Tumoren oder die Urolithiasis wirken begünstigend für die Entstehung von Entzündungen. Ionisierende Strahlen (nach therapeutischer Bestrahlung) oder chemische Noxen wie z.B. Cyclophosphamid sind eigenständige entzündungsauslösende Faktoren. Die Morphologie akuter unspezifischer Entzündungen umfasst makroskopisch die hämorrhagische, eitrige und seröse Form der Entzündung, wobei die Schleimhäute ödematös geschwollen und verdickt sind. Des Weiteren kann die Entzündung fibrinös- nekrotisierend in Erscheinung treten, unter Ausbildung von Pseudomembranen, Erosionen und Ulzerationen. Diese relativ seltene Form der Entzündung führt oft zu Lähmungen der Peristaltik mit allen Gefahren eines Harnrückstaus. Eine

chronisch bestehende Ureteritis oder Zystitis kann zu Kontrakturen des Bindegewebes führen, mit nachfolgender Ausbildung von narbigen Strikturen und damit verbundenen Abflussstörungen (75).

1.2.5.2 Spezifische Entzündungen

Zur Tuberkulose von Nierenbecken und Ureteren kommt es durch Erregerausbreitung im Rahmen einer Nierentuberkulose. Es können Verkalkungen, narbige Fibrosen und Strikturen entstehen, die den Verlauf einer Nierentuberkulose erheblich beeinflussen können, wenn es zum Sekretaufstau mit Ausbildung einer tuberkulösen Pyonephrose kommt.

In endemischen Regionen wie dem mittleren Osten, Indien und etlichen afrikanischen Staaten ist die Bilharziose (Schistosomiasis) von besonderer Bedeutung, weltweit gesehen sind 10% der Menschen mit Schistosomen infiziert. Sehr häufig (in 75% der Fälle) kommt es zu einer Mitbeteiligung des distalen Ureters, der sich radiologisch typischerweise linear verkalkt darstellt, es kann zu allen lokalen entzündlichen Komplikationen wie zur Ausbildung narbiger Strikturen oder eines Harnstaus kommen. Im Gegensatz zur Harnblase, wo die Bilharziose als prädisponierend für die Entstehung eines Karzinoms gilt, ist diese Komplikation an den Ureteren ein seltenes Geschehen (69,75).

1.2.6 Tumore

Mit etwa 98% gehen die meisten Tumore in den ableitenden Harnwegen vom Epithel aus. Dabei handelt es sich in 95% der Fälle um Karzinome (75), weniger häufig um Papillome. Im Folgenden soll nur auf die häufigsten Tumore näher eingegangen werden.

1.2.6.1 Epitheliale Tumore

1.2.6.1.1 Papillom

Bei Papillomen handelt es sich um benigne Tumore des Übergangsepithels, die in Nierenbeckenkelchsystem, Ureter und Harnblase lokalisiert sein können. Im oberen Harntrakt treten sie selten auf. Die Übergänge zu hochdifferenzierten papillären Urothelkarzinomen sind fließend. Papillome werden als Indiz einer gesteigerten Proliferationsaktivität des Urothels betrachtet. Es wird daher empfohlen, diese Patienten weiter zu beobachten, da sie eher Karzinome entwickeln als die Durchschnittsbevölkerung (68,75).

1.2.6.1.2 Karzinom

Seit Mitte des letzten Jahrhunderts wird weltweit eine zunehmende Inzidenz der vom Urothel ausgehenden Tumore beobachtet, bei erheblichen regionalen Unterschieden in den Morbiditäts- und Mortalitätsraten. In der Bundesrepublik Deutschland sind 1991 6500 Menschen (m:w = 2:1) an Harnblasenkarzinomen verstorben. Das entspricht 3,1% aller Todesfälle an malignen

Neubildungen in diesem Jahr. Das Nierenbecken und der Harnleiter nehmen zusammen einen Anteil von 7% an der gesamten Urothelfläche ein, mit entsprechender Wahrscheinlichkeit eines Tumors (75,76). Über 90% aller Karzinome der ableitenden Harnwege sind in industrialisierten Ländern Übergangszellenkarzinome (Transitionalzellkarzinome), selten kommen Plattenepithelkarzinome, Adenokarzinome und undifferenzierte Karzinome vor. Dagegen sind in Endemiegebieten der Schistosomiasis Plattenepithelkarzinome weit häufiger, in Ägypten beispielsweise haben sie einen Anteil von 74% (75). Eine Reihe von Risikofaktoren wurde identifiziert, darunter verschiedene chemische Kanzerogene (β -Naphthylamin, Benzidin u. a.) Phenazetinabusus, Zigarettenrauchen und die Einnahme von Cyclophosphamid. Chronische Entzündungen gelten als Kokarzinogene (75). Karzinome der ableitenden Harnwege treten mit den Initialsymptomen Makrohämaturie (70%), Flankenschmerzen (30%) und Dysurie (20%) in Erscheinung. Übergangszellenkarzinome zeigen die Tendenz, entweder zeitgleich oder im weiteren Verlauf multipel aufzutreten. So haben bis zu 40% der Patienten mit einem Übergangszellenkarzinom des Nierenbeckens ein assoziiertes Übergangszellenkarzinom der Harnblase, bei Befall des Ureters sind es etwa 25% (68,69,75). Aus diesem Grund stellt die komplette Nephroureterektomie bei resezierbaren Befunden die Standard-Therapie dar. Das Ausscheidungsurogramm zeigt in 50 bis 75% polypoide oder flache, unregelmäßig begrenzte Füllungsdefekte oder eine Funktionseinschränkung durch Tumorobstruktion. Das retrograde Ureteropyelogramm hat eine hohe Treffsicherheit von 75 bis 80% und bietet darüber hinaus die Möglichkeit der Materialgewinnung zur zytologischen Diagnostik (68,76).

1.2.6.2 Nichtepitheliale Tumoren

Nichtepitheliale Tumoren der ableitenden Harnwege jedweder Dignität treten selten auf. Es handelt sich um Leiomyome, Rhabdomyome, Neurinome oder Neurofibrome. An malignen Tumoren können unter anderem Leiomyosarkome, Rhabdomyosarkome sowie primäre maligne Lymphome der ableitenden Harnwege vorkommen (75).

1.2.6.3 Sekundäre Tumoren

Sekundäre Tumoren gelangen durch intraperitoneale, hämatogene und perivenös-lymphogene Metastasierung oder durch Einwachsen aus der Umgebung an die ableitenden Harnwege.

Im Nierenbecken sind Metastasen von Primärtumoren anderer Lokalisation selten. Uretermetastasen stammen zumeist von Karzinomen des Magens, der Prostata, der Nieren und der Mammæ. Aus der Umgebung wachsen am häufigsten Karzinome der Zervix und des Corpus uteri und der Ovarien sowie Karzinome der Prostata, der Harnblase oder des Kolon in die Ureteren ein (75).

1.3 Technik der Computertomographie

1.3.1 Allgemeine Erläuterungen

Die Computertomographie ist ein röntgenologisches Verfahren zur Erstellung axialer Schnittbilder. Ein Detektorsystem misst die Strahlenabschwächung einer Körperschicht. Ein Computer rekonstruiert aus den Schwächungswerten ihre örtliche Verteilung und erstellt aus diesen Daten ein Bild unterschiedlicher Graustufen.

Ein Computertomograph besteht aus einer sog. Gantry, in welcher Röntgenröhre und Detektoren untergebracht sind. Durch die zentrale Öffnung der Gantry wird der Patiententisch gefahren, der auf einem höhenverstellbaren Sockel vor der Gantry montiert ist. In einem separaten Steuerraum befinden sich ein Bedienpult mit Computer sowie eine Auswerteeinheit. Die Röntgenröhre wird über einen Hochspannungsgenerator mit Elektrizität versorgt. Röntgenröhre und Detektoren sind mechanisch verbunden und einander gegenüberliegend in der Gantry montiert. Sie bewegen sich auf einer Kreisbahn um den Patienten. Von der Röhre wird ein Röntgenstrahlenfächer (Fan Beam) ausgestrahlt, der durch geeignete Kollimierung nur eine definierte Ebene durchstrahlt. Die emittierte Strahlung wird von der untersuchten Schichtebene teils absorbiert oder gestreut, teils durchdringt sie den Körper und gelangt in der Detektorleiste zur Messung. Detektoren setzen Strahlung in elektrische Signale um, die von einem Rechner verarbeitet werden können (44).

1.3.2 Die Spiral- CT

In älteren CT- Geräten erfolgen Stromzuführung und Ableitung der Messwerte über Kabelleitungen. Das für jede Drehung der Röhrendetektorleiste nötige Auf- und Abrollen der Kabel birgt nicht nur einen hohen mechanischen Verschleiß, sondern führt auch zu längeren Untersuchungszeiten. Dagegen erfolgt die Energieübertragung und Messwertableitung in neueren Geräten über sog. Schleifringe. Die Einführung dieser Technik im Jahr 1987 stellte einen wesentlichen Schritt in der Entwicklung der Spiral- CT dar, denn sie ermöglicht bei geringem Verschleiß eine fortlaufende Umdrehung von Röhre und Detektorkranz. Im Gegensatz zur konventionellen Computertomographie im Einzelschichtmodus wird der Patient nicht mehr Schicht für Schicht unter intermittierendem Tischvorschub abgetastet, sondern es wird bei kontinuierlich rotierendem Aufnahmesystem, kontinuierlicher Strahlung und kontinuierlichem Tischvorschub ein spiralförmiger Datensatz erstellt, der zu den synonymen Bezeichnungen Spiral- CT bzw. Helical- CT geführt hat. Durch überlappende Bildrekonstruktion lassen sich kleine Läsionen unabhängig von Partialvolumeneffekten optimal erfassen. Ein weiterer Vorteil der Spiral- CT liegt in der kurzen Untersuchungszeit, die es beispielsweise ermöglicht, das gesamte Adomen- und Beckengebiet innerhalb eines einzigen Atemstillstandes zu untersuchen. Dadurch können auch kleine Läsionen in atemverschieblichen Organen sicher erfasst werden. Intravasal appliziertes

Kontrastmittel lässt sich besser ausnutzen und mehrere Kontrastmittelphasen können aufgezeichnet werden. Zudem konnten mit Einführung der Spiral- CT erstmals echte Volumendatensätze erfasst werden, die die Grundlage für dreidimensionale Bildnachverarbeitungstechniken darstellen. Aus dünnen Schichten können multiplanare 2D Reformationen oder 3D- Rekonstruktionen von hervorragender Bildqualität erstellt werden (35,44).

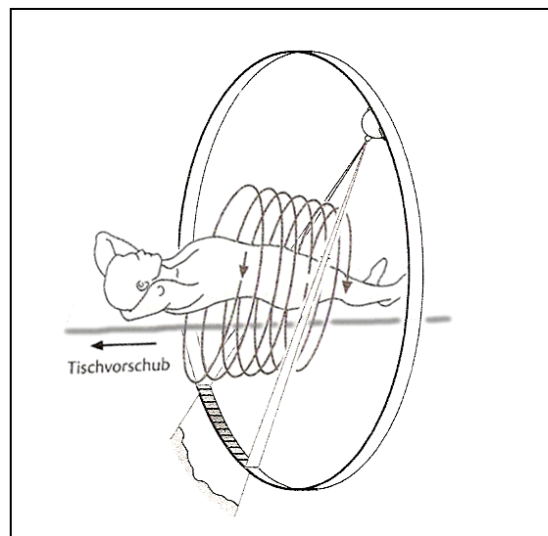


Abbildung 1-1 Abtastprinzip der Spiral- CT (nach (22))

1.3.3 Die Mehrzeilen- Spiral- CT

Weiterentwicklungen der Spiral- CT- Technologie haben in den letzten Jahren sog. Mehrzeilen- Spiral- CT- Geräte hervorgebracht, die die gleichzeitige Aufzeichnung mehrerer angrenzender Schichten ermöglichen. 1992 kamen 2- Zeilen und 1998 4- Zeilen Scanner auf den Markt. Seit kurzem sind Systeme mit acht, 10 oder 16 bis hin zu 64 Zeilen auf dem Markt (64,73). Derartige Geräte haben nicht mehr nur eine Detektorleiste, sondern mehrere parallel angeordnete Reihen nebeneinander. Die Anzahl der Detektorleisten ist dabei nicht identisch mit der Anzahl, der synchron aufgezeichneten Schichten. Die Synonyme Verwendung der Begriffe „Detektoren“ und „Schichten“ hat immer wieder zu terminologischen Verwirrungen geführt. Im Rahmen dieser Arbeit wird nur die Bezeichnung „Mehrzeilen- Spiral- CT“ beziehungsweise der englische Begriff „multislice helical CT“ (kurz MSCT) verwendet, da sie den Sachverhalt am korrektesten beschreiben und auch in der Literatur breite Anwendung finden (77). Das einfachste Modell eines

4- Schicht Scanners würde tatsächlich aus 4 Detektorzeilen bestehen. Allerdings ließe sich nach dieser Bauart nur eine feste Schichtdicke realisieren. Um den klinischen Anforderungen gerecht zu werden, muss es möglich sein, Aufnahmen unterschiedlicher Schichtdicke anfertigen zu können. Deshalb bestehen die Detektorleisten aus mehr als 4 parallel angeordneten Einzelleisten, die je nach gewünschter Schichtdicke verschieden zusammengefasst werden (18). Die Vorteile der Mehrzeilen- Spiral- CT im Vergleich zur einzeiligen Spiral- CT liegen in einer weiter verbesserten axialen Auflösung, einer verbesserten Nutzung der Leistung des Röntgenstrahlers (es kann eine weitere Kollimierung gewählt werden) und einer erhöhten Untersuchungsgeschwindigkeit (18,19). Die erhöhte Akquisitionsgeschwindigkeit kann alternativ dazu genutzt werden, bei gleicher Scanzeit die Ortsauflösung in Scanrichtung (z- Richtung) zu vervielfachen (18). Denn während die Ortsauflösung in der x/y- Bildebene in der Computertomographie auch in älteren Systemen schon recht hoch war, war häufig die Auflösung in der z- Achse unzureichend und damit die 3D- Bildqualität limitiert (35). Mit 4- Schicht CT- Geräten gelang es, dem Ideal des isotropen Voxels (s. u.) sehr nahe zu kommen (18).

1.3.4 Bildrekonstruktion

Aus den elektrischen Signalen, die in den Detektoren durch die auftreffende Strahlung erzeugt werden, wird durch einen Rechner die an jedem Punkt der Untersuchungsschicht stattgefundene lokale Röntgenschwächung rekonstruiert. Dazu durchlaufen die Messwerte das Rückprojektions- und Faltungsprogramm. Die Rückprojektion berechnet rückläufig den Ablauf der Datenaufnahme. Die Daten werden so auf eine rechnerische Projektionsebene projiziert, dass das rekonstruierte Bild eine dem Objekt möglichst angenäherte Abbildung erreicht. Anschließend werden Messwertfehler durch Korrekturfunktionen ausgeglichen. Der verwendete Rechengang wird als Faltung bezeichnet. Die Faltung bewirkt eine Detailkontrastanhebung. Die lokal berechneten Röntgenschwächungs- Werte werden in sog. CT- Werte transformiert und in Form von Graustufen (s.u.) visualisiert.

Bei der Bildrekonstruktion aus Rohdaten, die mit einem Spiral- CT erstellt wurden, ergibt sich eine Besonderheit: Die direkte Bildrekonstruktion aus einem beliebigen 360° Spiralsegment der Aufnahmespirale ist nicht ohne weiteres artefaktfrei möglich, da zu Beginn des Segmentes eine andere Ebene erfasst wird als an deren Ende. Dabei entspricht der Abstand zwischen den Schichten genau dem Tischvorschub in mm, um dessen Betrag sich das Objekt relativ zum Fokus bewegt hat. Aus diesem Grund wird bei der Spiral- CT vor der Bildrekonstruktion ein Zwischenschritt, die sog. z- Interpolation notwendig. Dieser Schritt ermöglicht es, aus den spiralförmig akquirierten Rohdaten solche Daten zu errechnen, die bei herkömmlicher, planarer

Schichtung erzielt worden wären. Was zunächst als Nachteil erscheint, begründet zugleich die entscheidenden Vorteile der Spiral- CT gegenüber der herkömmlichen CT: Es können aus den erfassten Rohdaten retrospektiv und unabhängig vom Scanvorgang Bilder an beliebigen Positionen, mit beliebigem Abstand und mit beliebigem Rekonstruktionsinkrement errechnet werden.

Der Begriff Rekonstruktionsinkrement gibt an, in welchem Abstand Schnitte berechnet werden und ist für den Grad der Überlappung zwischen den axialen Schichten verantwortlich. Eine starke Überlappung erlaubt eine zuverlässige Darstellung auch kleiner Läsionen und ist von Vorteil für eine gute 3D- Ortsauflösung (22).

Dank schneller und leistungsfähiger Bildprozessoren und spezieller Algorithmen der Bildvolumenrekonstruktion können qualitativ hochwertige MPR- und 3D- Rekonstruktionen angefertigt werden (35,44).

1.3.5 Definition der Aufnahmeschicht

Bei Mehrzeilen- CT- Geräten wird die Aufnahmeschicht durch 2 Faktoren festgelegt: Zum einen spielt die Breite des Fächerstrahls, also die röhrenseitige Kollimierung eine Rolle. Durch sie wird die Ausdehnung des Fächerstrahls in der z- Richtung, also der Längsrichtung des Patienten bestimmt. Zum anderen wirkt sich die detektorseitige Schichtkollimierung, also die elektronische Zuordnung der Meßsignale der einzelnen Detektorelemente auf die Schichtdicke aus (35). Über die Schichtkollimierung (SC) bestimmt sich die Ortsauflösung in der Patientenlängsachse (z- Achse).

1.3.6 Effektive Schichtdicke

Bei der herkömmlichen CT entspricht die Breite eines Schichtprofils der gewählten Schichtkollimierung. Bei der Spiral- CT dagegen muss eine effektive Schichtdicke angegeben werden. Die effektive Schichtdicke hängt unter anderem von der Schichtkollimierung ab, daneben aber auch von Pitch- Faktor und Interpolationsalgorithmus. Sie muss größer oder gleich der Schichtkollimierung sein (22,64).

1.3.7 Tischvorschub und Pitch- Faktor

Unabhängig von der Schichtkollimierung kann der Tischvorschub (TF: Table Feed) pro Röhrenumdrehung gewählt werden. Das Verhältnis von Tischvorschub pro Rotation zu Schichtkollimierung wird als „Pitch“ – Faktor P bezeichnet. Wird ein Pitch- Faktor von unter 1 gewählt, so kommt es zu einer überlappenden Abtastung des Patienten und dadurch zu einer erhöhten Strahlenbelastung. Durch die Verwendung spezieller Interpolationsalgorithmen lässt sich jedoch eine Verbesserung der Bildqualität erzielen die in manchen Fällen die Wahl eines Pitches von unter 1 rechtfertigt. Bei einem Pitch- Faktor von über 2 kommt es zu einer Unterabtastung des Untersuchungsvolumens, was zu nicht korrigierbaren Bewegungsartefakten führt.

Für Mehrzeilen- Spiral- Computertomographen wird der Pitch- Faktor (P) als Verhältnis von Tischvorschub pro Rotation (TF) und Gesamtkollimation aller Detektoren definiert. Die Gesamtkollimation aller Detektoren ist das Produkt aus der Anzahl gleichzeitig akquirierter Schichten (N) und der Einzelschichtkollimation (SC).

$$P = TF / (N \cdot SC) \quad (63,77)$$

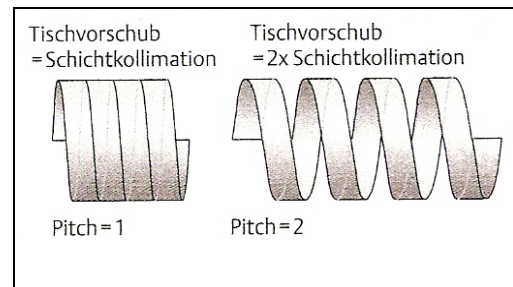


Abbildung 1-2 Pitch- Faktor.
Bei Erhöhung des Pitch wird die Spirale gestreckt. (aus (22))

1.3.8 Bildmatrix

Zur Bildberechnung wird das Körperquerschnittsbild in eine quadratische Rekonstruktionsmatrix aufgeteilt (44), die zum Beispiel 512 x 512 Bildpunkte (Pixel) umfassen kann. Da ein CT- Bild eine Schicht mit einer bestimmten Dicke, also die Reduktion eines dreidimensionalen Volumens auf eine zweidimensionale Ebene darstellt, entspricht jedes Pixel einem kleinen Volumenelement, einem so genannten Voxel. Ein solches Voxel wird in seiner xy- Ebene durch die Größe der Bildmatrix und den dargestellten Bildausschnitt (Field of View, FOV) bestimmt, in seiner z- Richtung durch die Schichtdicke. Da die Abmessungen der xy- Ebene meist kleiner sind als die

Schichtdicke, ergibt sich in der Mehrzahl der Fälle eine „Streichholzform“ der Voxel. Diese Anisotropie der Voxel lässt sich durch starke Reduktion der Schichtdicke mindern (22). Mit 4-Zeilen- Spiral- CT- Geräten kann eine Isotropie der Voxel nahezu erreicht werden (18), weitere Fortschritte diesbezüglich brachte die Entwicklung der seit 2002 auf den Markt befindlichen 16-Zeilen- Spiral- CT- Geräte (19).

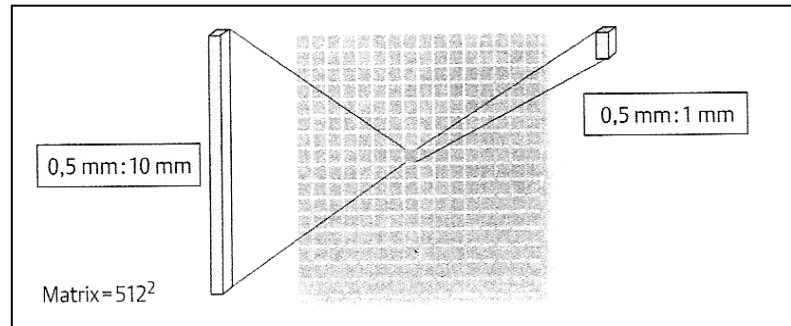


Abbildung 1-3 Die Bildpunkte der CT- Matrix entsprechen einem Volumenelement (Voxel). „Streichholzform“ bei größeren Schichtdicken. (aus (22))

1.3.9 CT- Werte

Bei der Bildrekonstruktion wird jedem Voxel ein Zahlenwert (CT- Wert) zugeordnet, der ein Maß für die Röntgenschwächung in diesem Voxel darstellt. Die Einheit wurde nach Hounsfield (Hounsfield Einheit, HE) benannt. Die Werte werden auf der nach oben offenen Hounsfield- Skala dargestellt und geben die relativen Schwächungskoeffizienten von Körpergeweben wieder. Die Skala besitzt einen definierten Niedrigstwert bei -1000 HE für Luft, bei 0 HE liegt der Referenzwert für Wasser. Für Weichgewebe existieren keine definierten Werte, charakteristische Werte finden sich jedoch beispielsweise für Fett und frische Blutungen (22).

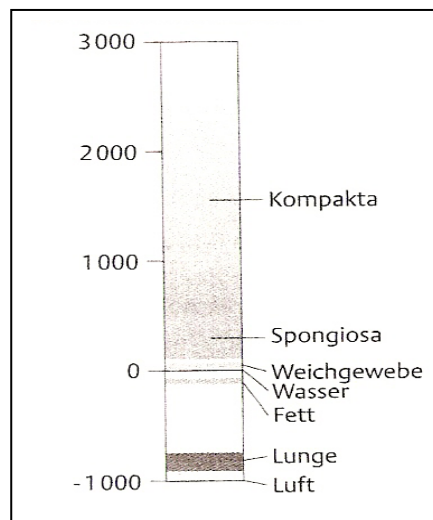


Abbildung 1-4 Hounsfield- Skala. (aus (22))

1.3.10 Fenstertechnik und Grauwertskala

Die Fähigkeit des menschlichen Auges, Graustufen zu unterscheiden ist je nach Betrachtungsbedingungen auf eine Anzahl von 40- 100 begrenzt. Deshalb ist es nicht sinnvoll, die gesamte CT- Skala dem verfügbaren Grauwertebereich zuzuordnen, sondern jeweils nur einen bestimmten Ausschnitt, ein sog. „Fenster“. Dadurch entsteht eine Kontrastanhebung. Ein solches Fenster ist charakterisiert durch die Fensterlage (Level, Center) und die Fensterweite (Width). Durch die Fensterlage wird bestimmt, in welchen Schwächungsbereich das Fenster gelegt wird, die Fensterweite bestimmt, welchem Schwächungsbereich die verfügbaren Grauwerte zugeordnet werden. Je geringer die Weite des Fensters gewählt wird, umso stärker ist die Kontrastanhebung. Wird das „Center“ verringert, so wird das Bild heller und umgekehrt. Die Fensterlage und Fensterbreite wird so gewählt, dass die Schwächungsbereiche des zu untersuchenden Organs mit seinen pathologischen Strukturen durch Graustufen dargestellt werden können.

1.3.11 Dosismessgrößen in der Computertomographie

1.3.11.1 CT- Dosisindex (CTDI)

Der CTDI (Einheit: mGy) ermöglicht auf einfache Weise den Vergleich verschiedener Scanprotokolle oder verschiedener Scannertypen. Er beschreibt die je CT- Schnitt applizierte Strahlendosis, normiert auf die Breite der eingesetzten Schichtkollimation. Zusätzlich zu der innerhalb der eingeblendeten Schicht auftreffenden Dosis, berücksichtigt der CTDI auch den gesamten Anteil an Streustrahlung, der durch diesen einen Schnitt entsteht und errechnet sich aus dem Integral des Dosisprofils einer Einzelschicht senkrecht zur Schnittebene (44). Die Messung des CTDI erfolgt mittels eines 100 mm langer Stabdosisimeters ($CTDI_{100}$), welches in einem Phantom in der z-Achse, (entsprechend der Patientenlängsachse) positioniert wird. Üblicherweise bestehen derartige Phantome aus 16 bzw. 32 cm dicken Zylindern aus Plexiglas, zur Simulation von Untersuchungen des Schädels bzw. Rumpfes. Ursprünglich wurde der CTDI zur Dosiseinschätzung bei der konventionellen CT eingeführt. Bei der Spiral- CT nimmt die Dosis bei höherem Pitch ab. Diesem Sachverhalt wird der Begriff „effektive CTDI“ gerecht, der zusätzlich den Pitch (P; Kap. 1.1.3.7) berücksichtigt und folgendermaßen definiert ist:

$$CTDI_{ef} = CTDI/P = CTDI \cdot N \cdot SC/TF \quad (63)$$

Über Dosismessungen im Zentrum sowie in der Peripherie des Phantoms mit anschließender Wichtung der Messwerte lässt sich der gewichtete CTDI ($CTDI_w$) berechnen, der die mittlere Dosis im gemessenen Phantomquerschnitt angibt.

Auf einer internationalen Konsensuskonferenz in Nürnberg wurde im Jahr 2001 eine neue Definition des CTDI festgelegt, der sog. Volumen-CTDI ($CTDI_{vol}$). Dieser Index bezieht sich sowohl auf die Spiral-CT wie auch auf die Mehrzeilen-Spiral-CT. Der $CTDI_{vol}$ entspricht dem effektiven und gewichteten CTDI:

$$CTDI_{vol} = CTDI_{w,eff} = CTDI_w / P = CTDI_w \cdot N \cdot SC / TF \quad (63)$$

1.3.11.2 Dosislängenprodukt (DLP)

Die Strahlenexposition des Patienten ist nicht nur abhängig von der pro Schicht applizierten Dosis, sondern auch von der Länge des untersuchten Körperbereichs. Das Dosislängenprodukt (DLP) drückt die applizierte Gesamtdosis während einer CT-Untersuchung aus. Die Einheit ist mGycm (Milligray mal Zentimeter). Entsprechend den verschiedenen CTDI existieren unterschiedliche Angaben bezüglich des DLP (DLP_{eff} , DLP_w , DLP_{vol} u. a.). Klinisch relevant ist im Wesentlichen der DLP_{vol} :

$$DLP_{vol} = CTDI_{vol} \cdot L \quad (63)$$

Die Scanlänge L ist nicht exakt gleich der Länge der untersuchten Körperregion. Aufgrund der Rohdateninterpolation wird eine Anlaufstrecke von etwa einer Detektorbreite ($N \cdot SC$) benötigt, welche zusätzlich berücksichtigt werden muss.

1.3.11.3 Effektivdosis (E)

Die Effektivdosis (E) lässt eine Abschätzung des Strahlenrisikos zu. Die Effektivdosis wird berechnet aus der Summe der bei einer bestimmten Strahlenexposition auftretenden Organdosen multipliziert mit dem jeweiligen Wichtungsfaktor dieser Organe. In diesem Zusammenhang muss erwähnt werden, dass die weiblichen Gonaden bei CT-Untersuchungen des Beckens und auch bei einer i.v.-Urographie voll bestrahlt werden. Die männlichen Gonaden werden aufgrund ihrer Lage nur der Streustrahlung ausgesetzt. Diese Tatsache führt zu deutlichen Unterschieden in der Effektivdosis einer Untersuchung bei Männern und Frauen (11). Die Effektivdosis kann mit Hilfe anthropomorpher Phantome bestimmt werden, oder über am Patienten befestigte Thermolumineszenzdosimeter. Ferner kann die Effektivdosis aus dem DLP ermittelt werden, das mit Konversionsfaktoren für einzelne Körperregionen multipliziert wird. Die praktikabelste Lösung ist der Einsatz geeigneter Computerprogramme, die die Effektivdosis aus Angaben über die Scanregion, die Scanlänge und die Scanparameter und Gerätetyp ermitteln (63).

1.4 Untersuchungstechniken des oberen Harntraktes

1.4.1 Sonographie

Die Sonographie bietet eine schmerzlose und nicht-invasive Untersuchungsmethode des Harntrakts, die ohne Kontrastmittelgabe und ionisierende Strahlung auskommt. Die Stärke der Sonographie liegt vor allem darin, flüssigkeitsgefüllte Strukturen von solidem Gewebe differenzieren zu können. Beispielsweise lassen sich solide renale Raumforderungen von Nierenzysten durch erfahrene Untersucher mit einer Genauigkeit von 98% (66) unterscheiden. In der Untersuchung des oberen Harntraktes ist die Ultraschalluntersuchung insbesondere zur Beurteilung einer Hydronephrose nützlich. Sowohl röntgendichte als auch nicht röntgendichte Konkremeente können aufgrund ihrer hohen Echogenität und ihres charakteristischen Schallschattens erkannt werden (66). Grenzen sind der Sonographie gesetzt, wenn es um die Darstellung der Ureteren geht. Es ist unmöglich, einen nicht erweiterten Harnleiter von seinem umgebenden retroperitonealem Fettgewebe zu unterscheiden. Erschwerend kommt hinzu, dass die Schallwellen von luftenthaltenden Darmanteilen komplett reflektiert und vom knöchernen Becken absorbiert werden. Es ist allenfalls möglich, bei bestehender Harnstauung den Harnleiter und gegebenenfalls auch paraureterale Obstruktionsursachen in seinem proximalen Drittel darzustellen. Trotz vorliegender Stauung sind das mittlere und untere Harnleiterdrittel selbst unter optimalen Untersuchungsbedingungen (schlanker Patient, gute Darmvorbereitung) kaum beurteilbar. Unmittelbar prävesikal und in seinem intramuralen Verlauf dagegen ist der Ureter bei bestehender Stauung einer Ultraschalluntersuchung gut zugänglich (25,66).

1.4.2 Projektionsradiographische Methoden

Als Eckpfeiler der urologischen Routineröntgendiagnostik werden traditionell die Abdomenübersichtsaufnahme und das Ausscheidungsurogramm betrachtet (12).

1.4.2.1 Abdomenübersichtsaufnahme

Bei der Abdomenübersichtsaufnahme handelt es sich um eine zweidimensionale Darstellung des Retroperitoneums mit Überprojektion der Abdominalorgane. Die Aufnahme erfolgt nach kompletter Blasenentleerung und Darmvorbereitung in Rückenlagerung und Apnoe im a.p.-Strahlengang mit einer Röhrenspannung von 65 bis 75 kV und hoher Röhrenstromstärke (12,15). Auf einem Film (35x43 cm bzw. 30x40 cm) wird das gesamte Retroperitoneum von der Oberkante des 12. Brustwirbels bis etwa einen Querfinger unterhalb der Symphyse dargestellt. Darmgasüberlagerungen, verkalkte Lymphknoten, Venenverkalkungen und Konkremeente der Gallenblase können zu diagnostischen Schwierigkeiten führen. Gegebenenfalls sind weitere Aufnahmen (seitliche und gedrehte, sowie Zielaufnahmen, konv. Tomographie) nötig, um exakte Aussagen über Art und Lage von Verkalkungen treffen zu können (12,15,66). Zusammen mit der

Sonographie der Nieren ist die Abdomenübersichtsaufnahme meist ausreichend, um einen blockierenden Harnleiterstein zu diagnostizieren (die Sensitivität liegt bei knapp 80% (83)), wenngleich sich die Nativ- CT (s.u.) in der Abklärung der Urolithiasis seit einigen Jahren mehr und mehr durchsetzt (6,12). Nicht zuletzt weil ein Ausscheidungsurogramm ohne vorausgehende Abdomenübersichtsaufnahme wertlos ist (röntgenpositive Konkreme werden durch Kontrastmittel maskiert), stellt die native Abdomenübersichtsaufnahme eine wichtige Untersuchung des oberen Harntraktes dar (12).

1.4.2.2 Ausscheidungsurogramm

In den Sechzigerjahren des 20. Jahrhunderts entwickelte sich das Ausscheidungsurogramm (Synonyme: Ausscheidungsurographie (AUG), i.v.- Urogramm (IVU), i.v.- Urographie) zum Eckpfeiler der Bildgebung im Bereich der Niere und ableitenden Harnwege (15,24). Die Stärke der Ausscheidungsurographie liegt in ihrer Fähigkeit, einen Überblick über den gesamten Harntrakt bieten zu können: sie lässt nicht nur die anatomische Abgrenzung von Nieren und ableitenden Harnwegen zu, sondern auch Rückschlüsse auf die Nierenfunktion. Immer wieder haben jedoch andere bildgebende Verfahren wie Ultraschall, Computertomographie, und Magnetresonanztomographie den Stellenwert der IVU als allumfassende urogenitale Bildgebungsmodalität in Frage gestellt (1,83).

Die Protokolle für die Durchführung der IVU unterscheiden sich von Institution zu Institution geringfügig, im Folgenden sei das von Dyer et. al. im Jahre 2001 (15) vorgeschlagene Vorgehen kurz wiedergegeben:

Vor Beginn der eigentlichen Ausscheidungsurographie wird eine native Abdomenübersichtsaufnahme durchgeführt, die nötigenfalls mit zusätzlichen Aufnahmen ergänzt werden kann. 1 bis 3 Minuten nach intravenöser Kontrastmittelapplikation (50 bis 60 ml, Iodkonzentration 30 bis 38%, Injektionszeit 10- 20 s) befindet sich das Kontrastmittel in der nephrographischen Phase. Zu diesem Zeitpunkt werden Nephrotomogramme oder Nierenlagerzielaufnahmen angefertigt. 5 Minuten nach KM- Gabe wird eine Abdomenübersichtsaufnahme erstellt, welche Nieren, Ureteren und Harnblase abbildet. Im Anschluss daran wird, sofern keine Kontraindikationen (nachgewiesene Ureter- Obstruktion in der 5- min Aufnahme, Aortenaneurysma, schwere Bauchschmerzen etc.) bestehen, eine abdominelle Kompression angelegt. Die nach 5- minütiger Kompression (10 min nach KM- Gabe) der Ureteren gegen das Sakrum künstlich herbeigeführte KM- Stauung ergibt auf Nierenlagerzielaufnahmen eine bessere Darstellung des Nierenbeckenkelchsystems (12). Nach weiteren 5 Minuten wird die Kompression (15 min post KM) aufgehoben, gefolgt von einer sofortigen Abdomenübersichtsaufnahme, die den Eintritt des kontrastierten Harnbolus in die Ureteren erfasst

und meist eine Darstellung komplett durchgezeichneter Harnleiter erlaubt (12). Sofern die Harnblase auf den Ureteraufnahmen nicht ausreichend gefüllt und gedehnt ist oder es die Fragestellung erfordert, können zusätzliche Blasenaufnahmen nötig sein. Somit ergibt sich nach dem von Dyer et. al. vorgeschlagenem IVU- Protokoll ein Minimum von 5 Aufnahmen wobei jede Phase bei Bedarf mit zusätzlichen Aufnahmen (schräg, seitlich, Tomogramme) ergänzt werden kann. Dabei ist entscheidend, dass jede Aufnahme sofort beurteilt wird, um den weiteren Ablauf der Untersuchung dem erhobenen Befund anpassen zu können.(12).

1.4.2.3 Röntgenologische Spezialverfahren

1.4.2.3.1 Retrograde Pyelographie

Bei der retrograden Pyelographie erfolgt die Darstellung der oberen Harnwege durch direktes Einführen von KM in den Ureter unter zystoskopischer Kontrolle. Meist kommt diese Technik zum Einsatz, wenn eine stumme Niere, eine unklare Stauungsniere oder allgemein ein Befund vorliegt, der mittels i.v.- Urographie nicht ausreichend geklärt werden kann. Sie birgt unter anderem das Risiko von Harnwegsperforationen und –infektionen (12).

1.4.2.3.2 Anterogrades Pyelogramm

Beim anterograden Pyelogramm wird das Kontrastmittel perkutan unter Sonographie- oder Durchleuchtungskontrolle in das Nierenbeckenkelchsystem eingespritzt. Die Indikation für eine rein diagnostische anterograde Pyelographie ist aufgrund ihrer Invasivität und der Verfügbarkeit alternativer Methoden heute nur noch sehr selten gegeben. Sie wird fast nur noch nach perkutaner Nephrostomieentlastung zur Eruierung einer postrenalen Obstruktion durchgeführt (12).

1.4.3 Schnittbildverfahren

1.4.3.1 Nativ- CT des Abdomens

Nachdem Smith et al. 1995 (78) die native Spiral- CT zur Abklärung akuter Flankenschmerzen als erste beschrieben, hat diese Technik sich in den vergangenen Jahren etablieren können (81). Mehrere Studien haben übereinstimmend die diagnostische Überlegenheit der nativ- CT des Abdomens gegenüber konventionellen Abdomenübersichtsaufnahmen und der Ausscheidungsurographie belegt (7,26,28,46,61,74,78-80). Bei kurzer Untersuchungsdauer können Harnleitersteine mit einer Sensitivität von über 95% und Spezifität von 96- 100% erkannt werden, ohne dass die Verabreichung von Kontrastmittel erforderlich ist (10,16,26,79,85). Darüber hinaus können Pathologien außerhalb der harnableitenden Organe erfasst werden, die für die Symptome verantwortlich sein können (7,24,66,85). Da alle Steinarten eine wesentlich höhere Dichte aufweisen als die sie umgebenden Weichteile, können sie durch CT- Dichtemessungen eindeutig lokalisiert und verifiziert werden. Ab einer Größe von etwa 2mm können sie unabhängig von ihrer Röntgendichte mit fast 100%iger Sicherheit nachgewiesen werden (14). Die Hauptlimitation erfährt die native Spiral- CT des Abdomens aufgrund der gegenüber dem i.v.- Urogramm höheren Strahlenexposition (13). Die effektive Dosis der nativ- CT wird in der Literatur zwischen 4,3 und 4,7 mSv angegeben (27) und ist damit je nach Protokoll des zum Vergleich herangezogenen i.v.- Urogramms annähernd gleich (7,17,54) bis ungefähr dreifach so hoch (bei nur 3 Aufnahmen etwa 1,5mSv) (13,74). Um diesem Problem zu begegnen, wurden spezielle Niedrigdosis Protokolle entwickelt.

1.4.3.2 Niedrigdosis- Nativ- CT des Abdomens

Durch Modifikation der CT- Protokolle, wie die Absenkung der Röhrenstromstärke oder Erhöhung des Pitches, gelang es, die effektive Ganzkörperdosis deutlich abzusenken (0,97 mSv bei Männern, 1,35 mSv bei Frauen (Knöpfle et al.) (40); 0,98 bei Männern, 1,50 bei Frauen (Hamm et al.) (27); 1,2 mSv bei Männern, 1,9 mSv bei Frauen (Tack et al.)(84)). Damit bewegt sich die effektive Dosis der Niedrigdosis- Nativ- CT durchaus im Rahmen derjenigen einer i.v.- Urographie mit 3 Aufnahmen, ohne dass durch die Dosiseinsparung die Aussagekraft gegenüber der konventionellen nativ- CT des Abdomens hinsichtlich der Fragestellung einer Urolithiasis gemindert wäre (27,40,84). Zur Abklärung akuter Flankenschmerzen darf sie als Methode der Wahl gelten (27).

1.4.3.3 CT-Urographie (CTU)

Derzeit finden sich in der Literatur keine einheitlichen Angaben darüber, welches untersuchungstechnische Procedere der Begriff „CT-Urographie“ exakt bezeichnet. Allgemeingültig kann festgestellt werden, dass es sich hierbei um eine Form der Urographie handelt, die ganz oder teilweise auf der Erstellung axialer Schnittbilder basiert. Zur computertomographischen Untersuchung der Harnwege werden dünnsschichtige axiale Aufnahmen von Nieren, Ureteren und Harnblase erzeugt, mit anschließender überlappender Rekonstruktion. Die rekonstruierten Schnittbilder dienen als Quelle für die Berechnung koronarer, in manchen Fällen auch sagittaler oder dreidimensionaler Darstellungen (60).

Wie die konventionelle Ausscheidungsurographie, so erfordert auch die computertomographische Untersuchung zur umfassenden Untersuchung des Harntrakts die Erstellung mehrerer Kontrastmittel- Phasen: Es wird eine native Phase zur Konkrement- Darstellung und Charakterisierung renaler Raumforderungen benötigt, sowie eine nephrographische Phase zur Evaluation des Nierenparenchyms und eine Ausscheidungsphase, in der die Lumina der ableitenden Harnwege mit Kontrastmittel- angereichertem Urin gefüllt sind. In der Literatur sind dazu verschiedene Vorgehensweisen beschrieben: Teils werden die verschiedenen Kontrastmittelphasen der CT-Urographie ausschließlich am Computertomographen angefertigt, teils kommen Kombinationen von konventioneller Ausscheidungsurographie und Computertomographie zur Anwendung (38). Beispielsweise schlagen manche Autoren vor, anstelle der nativ- CT konventionelle Abdomenübersichtsaufnahmen oder alternativ das CT- Topogramm zu verwenden (60). Derzeit noch Gegenstand der Forschung ist, in welchem Zeitrahmen (4,33) nach Kontrastmittelinjektion die Ausscheidungsaufnahmen angefertigt werden sollen, um eine optimale Füllung und Distension der ableitenden Harnwege zu gewährleisten. Ferner ist noch nicht abschließend geklärt, welche zusätzlichen Manöver (abdominelle Kompression (4,5,8,29,50), Administration von Kochsalzlösung (5,33,48,51) oder die Gabe von Furosemid) hilfreich sind (60).

Während die Überlegenheit der nativen, arteriellen und nephrographischen CT- Untersuchungen in der Abklärung renaler Raumforderungen und der Nephrolithiasis bereits allgemein anerkannt ist, bedarf der Stellenwert computertomographischer Ausscheidungsaufnahmen noch eingehender Evaluation. Vorläufige Ergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass sowohl maligne als auch benigne Läsionen der oberen ableitenden Harnwege und der Harnblase exakt identifiziert und zutreffend diagnostiziert werden können (60).

1.4.3.4 Magnetresonanztomographie der ableitenden Harnwege (Magnetresonanztomographie- Urographie)

Die Magnetresonanztomographie stellt eine nichtinvasive, röntgenstrahlenfreie Methode dar, die ableitenden Harnwege ähnlich einer i.v.- Urographie darzustellen. Stark T2- gewichtete Aufnahmen erlauben Aussagen über statische oder langsam fließende Flüssigkeiten, ohne dass die Gabe von Kontrastmitteln nötig wäre. Die Ausscheidungsfunktion der Nieren kann über kontrastverstärkte, T1- gewichtete Aufnahmen evaluiert werden. Hierbei kommen (jodfreie) gadoliniumhaltige Kontrastmittel zur Anwendung, die nicht nephrotoxisch sind und auch bei eingeschränkter Nierenfunktion oder bekannter Kontrastmittelunverträglichkeit verwendet werden können. Aufgrund der hohen Kosten wird die MR- Urographie jedoch ausgewählten Fragestellungen vorbehalten bleiben, beispielsweise der Untersuchung von Kindern, Schwangeren und nierentransplantierten Patienten. Eine weitere Limitation liegt darin, dass eine suffiziente Harnsteindiagnostik aufgrund konkrementbedingter Signalauslöschungen MR- urographisch nicht geleistet werden kann (9,56).

2 Zielsetzung

Die Mehrzeilen- Spiral- CT ist im Begriff, die projektionsradiographische, mehrphasige Ausscheidungsurographie (AUG) abzulösen. Zur Detektion von Nierensteinen konnte die Überlegenheit der CT bereits in Studien gezeigt werden. In Diagnose, Charakterisierung und Therapieplanung eines Nierentumors ist die MDCT das Mittel der Wahl (2,83,86). Zur Untersuchung der ableitenden Harnwege stellt die CT-Urographie eine vielversprechende Methode dar. Mehrere Studien der jüngeren Zeit (4,43,55) deuten darauf hin, dass sowohl maligne als auch benigne Läsionen der oberen ableitenden Harnwege und der Harnblase exakt identifiziert und zutreffend diagnostiziert werden können (60).

Ein entscheidender Nachteil der CT-Urographie liegt jedoch in der mit einer mehrphasischen Untersuchung verbundenen, erhöhten Strahlenexposition gegenüber dem konventionellen Ausscheidungsurogramm. Je nach zugrunde gelegtem Protokoll ist die CT-Urographie mit einer etwa 1,5- fach (Nawfel et al (57)) bis zirka 4- fach (Caoili et al. (4,11)) höheren effektiven Dosis im Vergleich zu einem Ausscheidungsurogramm behaftet.

Die CT-Urographie ist eine noch in Entstehung begriffene Methode. Insbesondere die Entwicklung eines aussagekräftigen Protokolls bei gleichzeitig reduzierter Strahlenexposition stellt gegenwärtig eine Herausforderung dar.

Ziel dieser Studie ist es, die Aussagekraft computertomographisch angefertigter Kontrastmittel-Ausscheidungsufnahmen der oberen ableitenden Harnwege zu prüfen. Darüber hinaus soll die Frage geklärt werden, inwieweit eine Reduktion der applizierten Strahlendosis mit Verlusten bezüglich der Aussagekraft CT- urographischer Aufnahmen erkauft werden muss.

3 Patienten, Material und Methode

3.1 Patienten

Es wurden 92 Patienten, die in der Zeit vom 03. Juli 2002 bis zum 19. Januar 2004 am Institut für klinische Radiologie der LMU in der Medizinischen Klinik der LMU mittels CT-Urographie untersucht worden waren, in die Studie aufgenommen.

3.1.1 Voraussetzungen für die Durchführung einer CTU

Die Entscheidung für die Durchführung einer CT-Urographie war abhängig von mehreren Faktoren:

- Anamnese und/ oder Symptomatik mussten richtungweisend für eine primäre Erkrankung der oberen Harnwege oder deren sekundäre Beteiligung im Rahmen der Grunderkrankung sein.
- Es durften keine Kontraindikationen für Röntgenuntersuchungen (Schwangerschaft, etc.) und die intravenöse Verabreichung von jodhaltigem Röntgenkontrastmittel (Hyperthyreose, schwere Nierenfunktionsstörung, Plasmozytom, etc.) vorliegen.

Zum Ausschluss einer Niereninsuffizienz bzw. Schilddrüsenüberfunktion wurden für alle Patienten aktuelle Serumwerte für Kreatinin und TSH (Thyreoidea Stimulierendes Hormon) ermittelt.

Indikation	Anamnese und/oder Symptomatik begründen den Verdacht auf eine Erkrankung der oberen Harnwege
Anamnese	Kein Vorliegen von Kontraindikationen für die Durchführung von Röntgenuntersuchungen Kein Vorliegen von Kontraindikationen für die intravenöse Verabreichung von jodhaltigen Röntgenkontrastmitteln
Laborwerte	Kreatinin < 2,0 mg/dl TSH- Spiegel > 0,4 mU/l

Tabelle 3-1 Voraussetzung zur Durchführung einer CTU

3.1.2 CTU- Protokolle

Im Untersuchungszeitraum wurden zweimal Modifikationen des Untersuchungsprotokolls vorgenommen: Zu Beginn des Untersuchungszeitraums am 03.07.2002 wurden Ausscheidungsaufnahmen nach einem Normaldosis- Protokoll angefertigt. Zum 01.01.2003 wurde das Protokoll dahingehend abgeändert, dass den Patienten fortan unmittelbar nach der Kontrastmittelinjektion 250 ml physiologische Kochsalzlösung infundiert wurde. Die computertomographischen Untersuchungsparameter blieben unverändert. Eine weitere Protokolländerung wurde zum 16.05.2003 vollzogen: Von diesem Zeitpunkt an wurden die Ausscheidungsaufnahmen nach einem Niedrigdosisprotokoll angefertigt, die Infusion der Kochsalzlösung wurde beibehalten.

Untersuchungstechnik	Patientenzahl	Zeitraum
Normaldosis- Protokoll ohne NaCl- Infusion	23	03.07.2002 bis 31.12.2002
Normaldosis- Protokoll mit vorausgehender NaCl- Infusion	19	01.01.2003 bis 15.05.2003
Niedrigdosis- Protokoll mit vorausgehender NaCl- infusion	50	16.05.2003 bis 19.01.2004

Tabelle 3-2 Untersuchungsprotokolle und Patientenzahlen

3.1.3 Ein- und Ausschlusskriterien

In die Studie eingeschlossen wurden all jene Patienten, von denen im Untersuchungszeitraum (vom 03. Juli 2002 bis zum 19. Januar 2004) am Institut für Klinische Radiologie in der Medizinischen Klinik der LMU computertomographische Ausscheidungsaufnahmen der oberen ableitenden Harnwege angefertigt worden waren. Zusätzlich mussten portalvenöse oder nephrographische CT-Serien erstellt worden sein.

Die oberen ableitenden Harnwege wurden seitengetrennt betrachtet. Aus der Studie ausgeschlossen wurden all jene Harnleiter und Nierenbeckenkelchsysteme, die zuvor mit Harnleiterschienen (Doppel- J- Katheter) versorgt worden waren.

3.2 Material und Methode

3.2.1 CT- Untersuchungsprotokolle

Alle computertomographische Bildgebung wurde mit dem 4- Zeilen- Spiral- CT MX 8000 der Firma Philips Medical Systems (Niederlande) durchgeführt

3.2.1.1 Native, portalvenöse und nephrographische Untersuchung

Für portalvenöse und nephrographische Untersuchungen wurden die Standardprotokolle des Instituts für klinische Radiologie für Abdomen- und Nierendarstellungen verwendet. Native Scans wurden in Niedrigdosistechnik mit den gleichen Geräteparametern wie auch die Niedrigdosis-CTU angefertigt. Die einzelnen Parameter können unten aufgeführter Tabelle entnommen werden.

3.2.1.2 CT-Urographie

In der Literatur wird der Begriff „CT-Urographie“ sehr uneinheitlich verwendet. Im Rahmen dieser Arbeit gilt folgende Definition:

Der Begriff „CT-Urographie“ bezeichnet im Folgenden ausschließlich die im Rahmen einer CT- Untersuchung akquirierten Kontrastmittelausscheidungsaufnahmen der Nieren und ableitenden Harnwege sowie die Bildrekonstruktionen aus diesem Datensatz.

Die Ausscheidungsaufnahmen wurden nach zwei verschiedenen Protokollen angefertigt:

3.2.1.2.1 Normaldosisprotokoll

Das Normaldosisprotokoll war hinsichtlich der gerätetechnischen Einstellungen identisch mit dem Standardprotokoll für Abdomen- und Nierendarstellungen, der Untersuchungsbereich wurde jedoch kürzer gewählt. In einem Teil der Fälle wurde nach Kontrastmittelgabe eine Infusion von 250 ml physiologischer Kochsalzlösung intravenös verabreicht.

3.2.1.2.2 Niedrigdosisprotokoll

Das Niedrigdosisprotokoll unterschied sich auch hinsichtlich der CT- Parameter von den Standardprotokollen. Zur Ermittlung des Verhältnisses zwischen maximal möglicher Dosisreduktion und Ureterkontrastierung wurde am Institut für klinische Radiologie bereits eine Phantom- Studie durchgeführt. In Zusammenarbeit mit Technikern der Firma Philips Medical Systems wurden für das verwendete Gerät optimierte CT- Einstellungen für eine Niedrigdosisuntersuchung gefunden.

Das Röhrenstromzeitprodukt wurde gegenüber dem Standardprotokoll reduziert auf 29 mAs/Schicht (Körpergewicht >80 kg), in manchen Fällen auf 20 mAs/Schicht, sofern das Gewicht

des Patienten unter 80 kg lag. Ferner wurde die Rotationszeit auf 0,5 Sekunden reduziert und der Pitch auf 0,875 abgesenkt. In der Gruppe der Niedrigdosis- Untersuchung wurde allen Patienten nach Kontrastmittelgabe 0,9%ige Kochsalzlösung infundiert.

	Portalvenöse/ Nephrographische Phase	Normaldosis Urographie	Niedrigdosis Urographie
Röhrenspannung (kV)	120	120	120
Röhrenstromzeitprodukt pro Schicht (mAs)	150 bis 200	150 bis 200	20 bzw. 29*
Rotationszeit	0,75 s	0,75 s	0,5 s
Kollimation	4 x 2,5 mm	4 x 2,5 mm	4 x 2,5 mm
Rekonstruktionsinkrement	1,6 mm	1,6 mm	1,6 mm
Tischvorschub pro Rotation	10,0 mm	10,0 mm	8,75 mm
Pitchfaktor	1,0	1,0	0,875
Effektive Schichtdicke	3,2 mm	3,2 mm	3,2 mm
Delay	70- 80 s 90- 120 s	Ø 11 min	Ø 19 min
NaCl- Infusion	Nein	Nein**/Ja***	Ja
Untersuchungsbereich	Diaphragma Symphyse	bis 2 cm oberhalb der Nieren bis zur Symphyse	2 cm oberhalb der Nieren bis zur Symphyse

Tabelle 3-3 Untersuchungsprotokolle: * Gewicht >80 kg; **vom
03.07.2002 bis 31.12.2002; ***vom 01.01.2003 bis 15.05.2003

3.2.2 Vorbereitung der Patienten

Zunächst wurden die Patienten anhand eines standardisierten und in der täglichen Routine verwendeten Aufklärungsbogens über die CT- Untersuchung informiert. Dieser Bogen umfasste neben Erläuterungen zu Untersuchungstechnik und Kontrastmitteln Nebenwirkungen einen Frageteil zur Erfassung relevanter Kontraindikationen für die Durchführung einer Computertomographie bzw. einer Kontrastmittelgabe. Anschließend wurde mit jedem Patienten ein ärztliches Aufklärungsgespräch durchgeführt. In Einzelfällen wurde Patienten orales Kontrastmittel verabreicht, sofern es die Fragestellung der konventionellen Abdomen- CT erforderte. Hierzu wurde ausschließlich negatives Kontrastmittel verwendet. Unmittelbar vor der Untersuchung wurde eine periphere Venenverweilkanüle gelegt und der Patient in Rückenlage möglichst bequem auf dem Untersuchungstisch gelagert. Um Artefakte durch neben dem Körper liegende Arme zu vermeiden, wurden die Patienten aufgefordert, während der Untersuchung die Arme über den Kopf auszustrecken. Die Venenverweilkanüle wurde über ein Verbindungsstück mit dem Hochdruckinjektor verbunden. Um ein versehentliches Herausziehen der Venenverweilkanüle zu verhindern, wurde sie sorgfältig fixiert und ein ausreichend langes Verbindungsstück zum Injektor verwendet. Zur Vorbeugung von Atem- und Bewegungsartefakten wurden die Patienten

aufgefordert, während der Untersuchung ruhig liegen zu bleiben und die Atemkommandos zu beachten.

3.2.3 Computertomographische Untersuchung

Die Untersuchung wurde vom Steuerraum aus durchgeführt. Zunächst wurde ein anteroposteriores Planungsbild (Topogramm) des Abdomens und Beckens angefertigt. Das Topogramm diente als Grundlage für die Festlegung der Untersuchungsbereiche. Anschließend wurde bei entsprechender Indikation eine native Untersuchung durchgeführt. Nach Injektion von 110 ml eines iodhaltigen, nichtionischen (300 mg I/ml) Kontrastmittels (Solutrast®, Schering AG, Berlin, Deutschland) mit einer Flussgeschwindigkeit von 2- 3 ml pro Sekunde, wurden kontrastmittelverstärkte Aufnahmen akquiriert. Dabei handelte es sich je nach Fragestellung um arterielle (30 s nach KM), portalvenöse (70 s) oder nephrographische (90 s) Kontrastmittelphasen.

Unmittelbar nach Erfassung der portalvenösen bzw. nephrographischen Phase verabreichte ein technischer Assistent allen Patienten, die nach dem Niedrigdosisprotokoll untersucht wurden, sowie einem Teil der Patienten die Ausscheidungsaufnahmen in Normaldosis erhielten (Untersuchungszeitraum vom 03.07.2002 bis 31.12.2002) 250 ml physiologische Kochsalzlösung über die Venenverweilkanüle, über welche zuvor das Kontrastmittel injiziert worden war.

Die Ausscheidungsphase wurde nach einer Verzögerungszeit von mindestens 5 Minuten nach Kontrastmittel- Injektion angefertigt. Dabei kam es zu Schwankungen der Delay- Zeiten aufgrund verschiedener Gegebenheiten seitens der Patienten und des täglichen Routinebetriebs in der Abteilung.

3.2.4 Bildnachbearbeitung

Aus den akquirierten Rohdaten der Ausscheidungsphase wurden von einem technischen Assistenten an einer getrennten Workstation koronare Rekonstruktionen der Ausscheidungsaufnahmen mit einer Schichtdicke von 3 mm angefertigt

3.2.5 Bildanalyse

Die CT- Aufnahmen wurden mittels eines Bildarchivierungs- und Kommunikationssystems (IMPAX 4.1, Agfa Medical Systems, Deutschland) analysiert. Die Bildausgabe erfolgte über zwei nebeneinander stehende 21 Zoll Monitore. Die Bilder wurden mit vorgegebener Fensterlage (L) und Fensterweite (W) (Weichgewebe W350:L50) präsentiert.

3.2.5.1 Definition der Harnleitersegmente

Die oberen ableitenden Harnwege wurden zur individuellen Befundung in vier anatomische Abschnitte eingeteilt: Das intrarenale Nierenbeckenkelchsystem bis zum ureteropelvinen Übergang, der proximale Harnleiter (vom ureteropelvinen Übergang bis zur Kreuzungsstelle mit dem M. psoas), der mittlere Harnleiter (entlang des M. psoas bis zur Kreuzungsstelle mit den Iliakalgefäßen) und der distale Harnleiter (von der Kreuzungsstelle mit den Iliakalgefäßen bis zur Harnblase). Somit resultieren 8 anatomische Segmente je Patient.

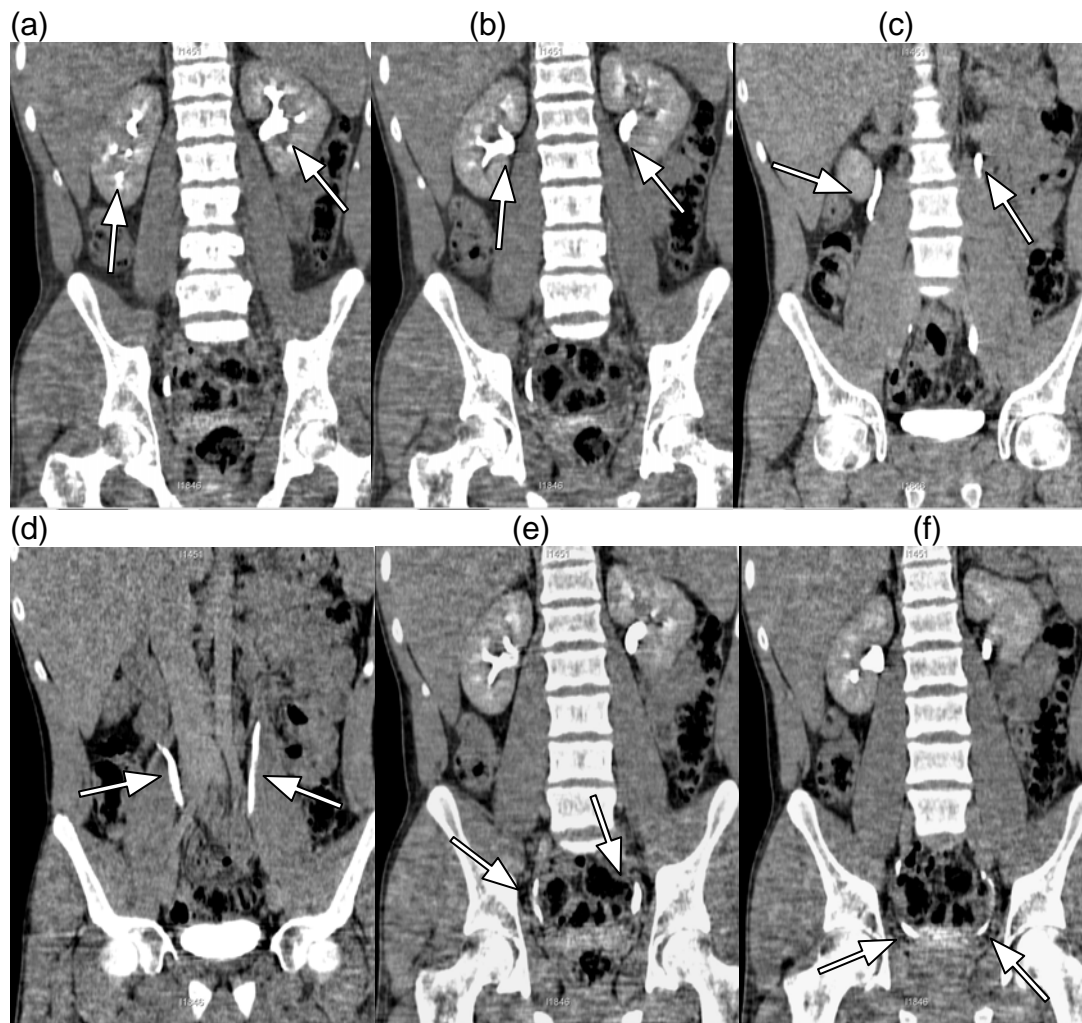


Abbildung 3-1 Darstellung der anatomischen Segmente des oberen Harntrakts in der CT-Urographie. Intrarenales Nierenbeckenkelchsystem (a,b), proximaler Harnleiter bis zur Kreuzungsstelle mit dem M. psoas (c); mittlerer Harnleiter (entlang des M. psoas bis zur Kreuzungsstelle mit den Iliakalgefäßen (d), distaler Ureter (von der Kreuzung mit den Iliakalgefäßen bis zur Harnblase).

3.2.5.2 *Definition der Kriterien Dilatation, Kompression und innere Obstruktion*

Zur Beurteilung wurden folgende Entscheidungskriterien herangezogen:

Eine **Dilatation** liegt vor,

- wenn der HL einen Durchmesser von mehr als 3mm besitzt und die Kaliberschwankung nicht durch eine peristaltische Welle bedingt ist. (d.h. in der Praxis, dass mehrere proximal folgende Segmente betroffen sein müssen)

oder

- wenn ein erkennbarer Kalibersprung aufgrund einer Obstruktion vorliegt.

Eine **Kompression** liegt vor, wenn

- eine Raumforderung in unmittelbarem Kontakt mit dem Harnleiter zu erkennen ist.
- eine Verlagerung des betroffenen Harnleiters durch eine Raumforderung vorliegt.
- eine Einklemmung des Harnleiters durch 2 oder mehr Raumforderungen besteht.
- der Harnleiter seinen Verlauf durch eine Raumforderung hat.

Eine **Obstruktion** von innen liegt vor, wenn

- eine KM- Aussparung im Harnleiterlumen zu erkennen ist.
- eine zirkuläre Wandverdickung des Ureters bzw. der Nierenbecken- Wand vorliegt.
- bei periureteraler Entzündungs-/ Streifenzeichnung.

3.2.5.3 Referenzdaten

Die Referenzdaten wurden durch eine Gruppe 1, bestehend aus zwei Betrachtern (UML, DC) erstellt. Zusätzlich zu den am Untersuchungstag angefertigten nativen, nephrographischen und portalvenösen CT- Aufnahmen wurde alle greifbare Information zu den Patienten genutzt, um zu einer korrekten Entscheidung für oder gegen das Vorliegen einer Veränderungen im Sinne der Fragestellung zu kommen. Für alle Patienten standen die klinischen Informationen aus den Anforderungsscheinen zur Verfügung. Bei den 44 aus der Abteilung für Urologie stammenden Patienten (entsprechend 48% des Patientenguts unserer Studie) konnten zusätzlich die kompletten Krankenakten gesichtet und zur Entscheidungsfindung herangezogen werden. Die Betrachter mussten für jedes Segment eine gemeinsame Entscheidung für oder wider das Vorliegen einer pathologischen Veränderung finden. Für jedes Harnleitersegment erfolgte eine dichotome und im Konsens beider Betrachter getroffene Festlegung bezüglich der Kriterien Dilatation, Kompression und innere Obstruktion (0= Kriterium nicht erfüllt; 1= Kriterium erfüllt). Zusätzlich wurden für jeden Patienten auf Höhe des Beckeneingangs laterolateraler und anteroposteriorer Durchmesser, sowie der Umfang der Patienten gemessen. Dazu wurden die vom Bildarchivierungssystem zur Verfügung gestellten Messwerkzeuge verwendet. Aus den Zeitangaben im Bildarchivierungssystem wurden die Verzögerungszeiten ermittelt. Sämtliche Ergebnisse wurden auf einem PC tabellarisch dokumentiert (Microsoft Excel 2003, Microsoft Corporation).

3.2.5.4 Analyse der CT-Urographien

Gruppe 2 bestand aus zwei Betrachtern (TM, EC), die unabhängig und getrennt voneinander nur die Bilder der urographischen Phasen der CT (axiale Schichten und koronare Rekonstruktionen) zur Befundung erhielten. Es wurden keine zusätzlichen Informationen (wie etwa klinische Angaben) zur Verfügung gestellt. Die Präsentation der Niedrigdosis- und Normaldosis- CT-Urographien erfolgte in zufälliger Reihenfolge. Eine dritte Person befasste sich ausschließlich mit der Datenerfassung an einem PC (Microsoft Excel 2003, Microsoft Corporation), um eine ungestörte Betrachtung und fehlerfreie Dokumentation der Ergebnisse zu gewährleisten. Wie auch in der Kontrollgruppe, erfolgte eine Beurteilung der einzelnen Harnleitersegmente hinsichtlich der Kriterien für Dilatation, Kompression und innere Obstruktion. Die Beurteilung erfolgte anhand einer 5- Punkt Konfidenzskala, die in Abstufungen von 1= sicher nein bis 5= sicher ja reichte. Nicht ausreichend kontrastmittelgefüllte (< ca. 10% der Strecke) Segmente der OAH oder subjektiv durch den Betrachter nicht ausreichend von der Umgebung abgrenzbare Segmente wurden als nicht beurteilbar („n“) bezeichnet.

Kriterium (Dilatation / Obstruktion innen / Kompression) erfüllt:
1 = sicher nein
2 = wahrscheinlich nein
3 = unentschieden
4 = wahrscheinlich ja
5 = sicher ja
n= Segment nicht beurteilbar.

Tabelle 3-4. 5- Punkt Konfidenzskala

3.2.6 Ermittlung der Strahlenexposition

Zur Ermittlung der Strahlenexposition wurde das von Stamm und Nagel im Jahr 2002 (82) vorgestellte Programm „CT-Expo V.1.1.“ verwendet. Dabei handelt es sich um eine Excel-Applikation zur Ermittlung von Patientendosiswerten bei CT-Untersuchungen. Grundlage sind Berechnungsverfahren, die bei der Auswertung der bundesweiten Umfrage zur CT-Expositionspraxis in 1999 (21) verwendet wurden. Das Programm gestattet die Berechnung aller praxisrelevanten Dosisgrößen wie Achsendosis frei Luft, gewichteter CTDI, Dosislängenprodukt, effektive Dosis und Uterusdosis. Das CT- Expo- Programm bietet die Möglichkeit, Dosiswerte unter Berücksichtigung gerätespezifischer Daten nach Geschlechtern und Altersgruppen (Erwachsene, Kinder, Säuglinge) getrennt zu berechnen (82). Zur Dosisberechnung einer Scanserie sind folgende Angaben nötig: Hersteller, Modell und Baujahr des CT- Geräts, Geschlecht und Altersgruppe des Patienten, die Scanregion (Position, Länge), sowie die dosisbestimmenden Scanparameter (Röhrenspannung, mAs- Produkt, Schichtdicke, Anzahl der gleichzeitig erfassten Schichten und Tischvorschub). Die individuellen Scanlängen konnten mithilfe der Messwerkzeuge (Impax) am Ausgabemonitor ermittelt werden, das mAs- Produkt war auf jeder CT- Aufnahme vermerkt. Die übrigen benötigten Angaben zu den Geräteeinstellungen waren den am Gerät abgespeicherten Untersuchungsprotokollen zu entnehmen (s. Kap.: 3.3.1).

3.2.7 Statistische Auswertung

Ausgehend von den patientenbezogenen Ergebnistabellen wurden die Ergebnisse beider Betrachter jeweils für die Normaldosis- CTU und für die Niedrigdosis- CTU zusammengefasst. Hierbei wurde auch die Unterscheidung rechte/linke Seite aufgehoben. Ferner wurde von einer Unterscheidung zwischen „Normaldosis mit NaCl- Infusion“ und „Normaldosis ohne NaCl- Infusion“ abgesehen.

Zur Berechnung der diagnostischen Genauigkeit des Verfahrens, d. h. der Sensitivität und Spezifität wurde eine Vier-Feldertafel (Abb. 3-2) verwendet. Hierbei wurden die nach einer 5 Punkt-Konfidenzskala vergebenen Bewertungen hinsichtlich des Vorliegens einer Pathologie (Pathologie vorhanden: 1= sicher nein, 2= wahrscheinlich nein, 3= unentschieden, 4 = wahrscheinlich ja, 5 = sicher ja) auf dichotome Entscheidungen reduziert. Dabei wurde wie folgt vorgegangen: Die Werte 1, 2 und 3 der Konfidenzskala wurden als Entscheidung „es liegt keine Pathologie vor“ gewertet, bei Werten von 4 oder 5 wurde die Entscheidung „es liegt eine Pathologie vor“ angenommen. Die Bewertung „3= unentschieden“ als Entscheidungen für die Aussage „es liegt keine Pathologie vor“ gewertet.

Befund Referenz	Befund CTU	
	keine Pathologie	Pathologie
Pathologie	<i>Falsch Negativ FN</i>	<i>Richtig Positiv RP</i>
keine Pathologie	<i>Richtig Negativ RN</i>	<i>Falsch Positiv FP</i>

Tabelle 3-5 Vier- Felder- Tafel

Die Werte Sensitivität und Spezifität errechneten sich nach folgenden Formeln:

- Sensitivität = $RP / (RP + FN)$
- Spezifität = $RN / (RN + FP)$.

Die Sensitivität beschreibt also den prozentualen Anteil der richtig erkannten pathologischen Segmente im Verhältnis zu der Anzahl aller pathologischen Segmente.

Die Spezifität ist ein Maß für die Anzahl der richtig als unauffällig erkannten Harntraktsegmente im Verhältnis zu allen unauffälligen Segmenten (23).

Zur Berechnung der Sensitivitäts- und Spezifitätswerte wurden die Durchschnittswerte aus richtig/falsch positiven bzw. richtig/falsch negativen Ergebnissen beider Betrachter verwendet. Als „nicht beurteilbar“ gewertete Segmente wurden nicht in die Berechnung miteinbezogen.

Die für die Normaldosis- bzw. Niedrigdosis- CTU erhaltenen Sensitivitäten bzw. Spezifitäten wurden bezüglich der Kriterien Dilatation, Kompression und innere Obstruktion mit dem Chi-Quadrat-Test auf Unterschiedlichkeit getestet. Ein statistisch signifikanter Unterschied wurde ab einem Wert von $p < 0,05$ angenommen.

Hinsichtlich der Frage nach der Beurteilbarkeit wurden die Anteile der beurteilbaren Segmente an der Gesamtzahl der Segmente je Gruppe miteinander verglichen und mit dem Chi-Quadrat-Test geprüft. Von einem statistisch signifikanten Unterschied wurde ausgegangen für Werte $p < 0,05$.

Zur statistischen Berechnung der Untersuchervariabilitäten wurde der Kappa-Index ermittelt. Ein Kappa-Index von +1,0 bedeutete eine vollständige Übereinstimmung und ein Kappa-Index von 0,0 eine zufällige Übereinstimmung. Die Interpretation der Kappa-Werte erfolgte nach Landis und Koch: 0,0 - 0,2: ungenügend; 0,21 - 0,4: ausreichend; 0,41 - 0,6: befriedigend; 0,61 - 0,8: gut; 0,81 - 1,0: sehr gut.

Die Gruppengleichheit zwischen der Normal- und der Niedrigdosis-CTU-Gruppe hinsichtlich des laterolateralen und anteroposterioren Durchmessers, sowie des Körperumfangs, und der Kreatininkonzentration im Serum wurde durch den Student'schen t-Test auf Gruppengleichheit geprüft. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt.

4 Ergebnisse

4.1 Analyse des Patientenguts

Aufgrund kleiner Gruppengrößen und geringer Fallzahlen wurde im Folgenden auf die Unterscheidung der beiden Normaldosis- CTU- Gruppen („mit NaCl“ (n=19 Pat.) und „ohne NaCl“ (n=23 Pat)) verzichtet. Die ausführlichen Referenzergebnisse dieser beiden Gruppen sind im Anhang wiedergegeben

4.1.1 Altersstruktur

Das durchschnittliche Alter aller Patienten lag bei 60 Jahren. Der älteste Patient war 89 Jahre alt, der jüngste 19 Jahre, bei einem Median von 63 Jahren. Für Frauen betrug das mittlere Alter 61 Jahre, für Männer 59 Jahre.

	Normaldosis			Niedrigdosis			Gesamt		
	Gesamt	m	w	Gesamt	m	w	Gesamt	m	w
Patientenzahl:	42	20	22	50	20	30	92	40	52
Mittelwert Alter:	65,12	65,5	64,77	55,96	53,25	57,77	60,14	59,38	60,73
Median Alter:	65	66	64,5	57,5	56,5	57,5	63,00	63,5	60,5
Jüngster Patient:	32	32	33	19	19	31	19	19	31
Ältester Patient:	89	83	89	87	82	87	89	83	89

Tabelle 4-1 Altersstruktur und Geschlechterverteilung

In der Patientengruppe, die mit dem Niedrigdosisprotokoll untersucht wurde, betrug das Durchschnittsalter (ohne Berücksichtigung des Geschlechts) 56 Jahre, bei einem Median von 58 Jahren. Der jüngste Patient war 19, der älteste 87 Jahre alt. Die Normaldosis- Patienten waren im Mittel 65 Jahre alt, bei einem Median von 65 Jahren, wobei der älteste Patient 89 und der jüngste 32 Jahre alt war. Damit bestand ein statistisch signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) hinsichtlich der Altersstruktur beider Gruppen, mit im Schnitt jüngeren Patienten in der Niedrigdosisgruppe.

4.1.2 Untersuchungsanlässe

46 Patienten wurden von der Urologischen Klinik der LMU an unsere Institution überwiesen, 11 Patienten von der Abteilung für Gynäkologie sowie 35 Patienten von anderen im Haus befindlichen Abteilungen. Die häufigsten Untersuchungsanlässe waren im Rahmen von gynäkologischen Tumoren, Nierenzellkarzinomen sowie Blasen- und Harnleitertumoren. Eine Reihe von Patienten stellte sich zur Abklärung unklarer Raumforderungen der Niere vor. Des Weiteren wurden Patienten zur Abklärung einer Harnstauung oder Hämaturie untersucht. Einen Überblick über die quantitative Verteilung der Untersuchungsanlässe innerhalb der einzelnen Gruppen gibt nachfolgend aufgeführte Übersicht.

	Niedrigdosis mit NaCl	Normaldosis gesamt	Gesamtes Kollektiv
Gynäkologischer Tumor	13	4	17
Raumforderung der Niere	7	13	20
Nierenzellkarzinom	3	2	5
Harnstauung	8	7	15
Harnleiter- oder Blasenkarzinom	1	4	5
Urolithiasis	5	1	6
Sonstiger Tumor	4	1	5
Hämaturie	2	7	9
Andere	7	3	10

Tabelle 4-2 HD: Untersuchungsanlässe. Verteilung auf die Untersuchungsgruppen.

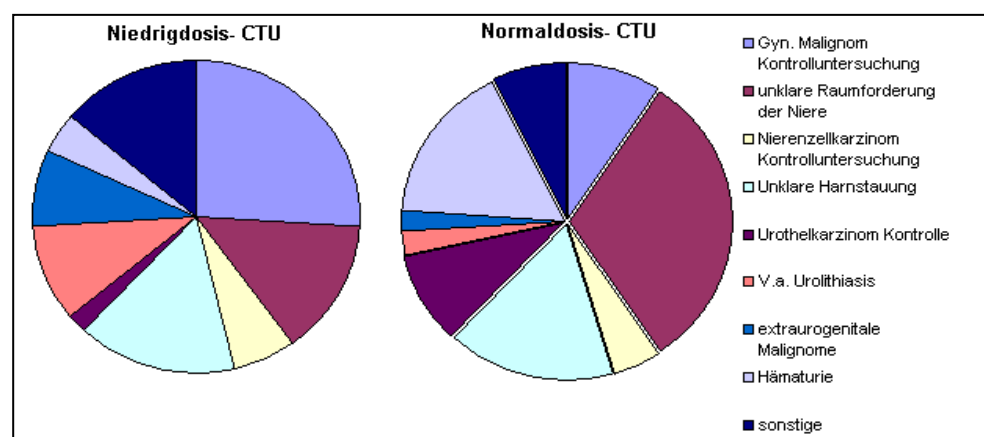


Abbildung 4-1 Untersuchungsanlässe. Niedrig- und Normaldosis CTU.

4.1.3 Diagnosen

Bei 41 Patienten ließen sich ein- oder beidseitige Läsionen der oberen ableitenden Harnwege nachweisen. Die zugrunde liegenden Diagnosen werden im Folgenden kurz erläutert, einen Überblick verschafft die unten aufgeführte Tabelle.

In fünf Fällen wurden die Ureteren durch maligne gynäkologische Tumore affiziert. Im Einzelnen handelte es sich dabei um je ein Endometrium-, Ovarial-, und Zervix- Karzinom sowie um je einen Krukenberg- und Müller- Gang- Tumor. In einem Fall waren die Ureteren durch einen Uterus myomatosus komprimiert. Bei zwei Patienten lagen Urothelkarzinome vor, einmal im Bereich der Harnblase mit beidseitiger Ummauerung der Ureterostien, bei dem zweiten Patienten war das Karzinom in einem ostiumnahen Harnleiterdivertikel lokalisiert, wobei das Divertikel mit Karzinom den Harnleiter von außen komprimierte. In zwei Fällen kam ein Nierenzellkarzinom mit Kontakt zum Nierenbeckenkelchsystem vor. Dabei handelte es sich einmal um ein Rezidiv nach vorausgegangener Nierenteilresektion, im anderen Fall um einen Erstbefund. Bei elf Patienten waren Nierenbeckenkelchsysteme durch (teils parapelveine) Nierenenzysten komprimiert. Bei zwei Patienten fanden sich narbige Veränderungen der Ureteren. Jeweils als Einzelfälle traten folgende Erkrankungen mit Einbeziehung der oberen ableitenden Harnwege auf: Senkniere mit Malrotation, postoperatives (vaginale Hysterektomie) Hämatom im Bereich des Beckens, Urinom, Hydronephrose bei Ureterresektion, chronische Entzündung des Harnleiters, Pyelonephritis, retroperitoneale Fibrose, retroperitoneales Lymphom, Nierenabszess und Perforation auf dem Boden einer Nephrolithiasis, akzessorisches Polgefäß der Niere, vesicoureteraler Reflux. In sieben Fällen lagen isoliert dilatierte Nierenbeckenkelchsysteme vor, ohne aktuell nachweisbare Ursache. In drei von diesen Fällen war jedoch die Anamnese einer rezidivierenden Urolithiasis bekannt.

Diagnosen	n	Diagnosen	n
Maligne gynäkologische Tumore: je ein Endometrium-, Cervix-, und Ovarial- Karzinom sowie je ein Müller- Gang und Krukenberg- Tumor	5	Nierenzysten	11
Urothelkarzinome	2	Nierenabszess mit Nierenperforation bei Nephrolithiasis	1
Uterus myomatosus	1	Postoperatives Hämatom	1
Nierenzellkarzinome	2	Urinom	1
Senkniere mit Malrotation	1	Hydronephrose	1
Narbige Veränderungen des Ureters	2	Retroperitoneale Fibrose	1
Vesicoureteraler Reflux	1	Retroperitoneales Lymphom	1
Chronisch Entzündung des Harnleiters	1	Pyelonephritis	1
		Akzessorisches Polgefäß der Niere	1

Tabelle 4-3 Fälle mit primärer oder sekundärer Beteiligung der oberen ableitenden Harnwege.

4.2 Referenzergebnisse

4.2.1 Anzahl der in die Studie eingeschlossenen Segmente

Theoretisch ließe eine Gesamtzahl von 92 Patienten eine Menge von 184 ableitenden oberen Harnwegen und 736 Harnleitersegmenten erwarten. Tatsächlich wurden jedoch nur 657 Harnleitersegmente in die Studie eingeschlossen. Die Differenz von 79 Segmenten kam dadurch zustande, dass 6 Patienten (24 Segmente) einseitig nephrektomiert waren, bei 5 Patienten waren untersuchungsbedingt das distale Harnleitersegment (10 Segmente) und bei 2 Patienten das mittlere und distale Segment (8 Segmente) nicht erfasst. Ein weiteres distales Harnleitersegment war operativ entfernt worden, unter Ableitung des zugehörigen Harnleiters in das Ileum. Weitere 9 komplette Harnleiter (36 Segmente) wurden ausgeschlossen, weil sie bereits mit einer Harnleiterschienung (Doppel- J- Schiene) versorgt worden waren.

Aus der Gruppe der 50 Niedrig- CTU untersuchten Patienten konnten 350 OAH- Segmente in die Studie aufgenommen werden, aus der Gruppe der 42 Normaldosis- CTU Patienten 307 Segmente.

Harnleiterschienung	9 Harnleiter	36 Segmente
Nephrektomie	6 Harnleiter	24 Segmente
Partielle Resektion des Ureters	1 Harnleiter	1 Segment
Von der Untersuchung nicht erfasst	10 distale Harnleiter	10 Segmente
	4 mediale und distale Harnleiter	8 Segmente
Summe		79 Segmente

Tabelle 4-4 Ausschlusskriterien und Anzahl ausgeschlossener Segmente

4.2.2 Auswertung der Krankenakten

In einem Teil der Fälle konnten die Diagnosen der portalvenösen bzw. nephrographischen Untersuchungen durch Informationen aus den Patientenakten der Abteilung für Urologie zusätzlich validiert werden. Für 19 der 50 Patienten, die mit der Niedrigdosis- CTU untersucht wurden, sowie für 25 der 42 mit Normaldosis untersuchten Patienten wurden die Krankenakten gesichtet. Die Krankenakten aller Patienten umfassten neben Anamnese und klinischer Untersuchung zeitnahe sonographische Untersuchungen. Bei einigen Patienten lagen Beschreibungen der operativen Situs sowie histologische Ergebnisse vor. Manche Patienten wurden mit i.v.- Urogrammen, retrograden Ureteropyelographien, Abdomenübersichtsaufnahmen und Zystogrammen untersucht. Darüber hinaus waren in einem Teil der Fälle zystoskopische, szintigraphische oder magnetresonanztomographische Befunde vorhanden. Einen Überblick bietet unten aufgeführte Tabelle. (Einzelfallbeschreibungen siehe Kap. 4.2.5.)

	Niedrigdosis	Normaldosis
Ultraschall	19	25
Operation	4	4
RUP	3	3
Zystoskopie	2	6
AÜS	3	1
IVU	0	3
Zystogramm	0	2
MAG- 3- Szintigraphie	1	2
MRT	0	1

Tabelle 4-5 Zusätzliche apparative Untersuchungen der aus der Abteilung

4.2.3 Kriterium Dilatation

4.2.3.1 Niedrigdosis- Patienten

Von den 350 in die Niedrigdosis- Gruppe eingeschlossenen Harnleitersegmenten der oberen ableitenden Harnwege wurden in der Referenz 16 als dilatiert bewertet. Damit lag mit einer Studienprävalenz von 4,6% die Dilatation eines Segmentes des oberen Harntraktes vor. Nierenbeckenkelchsystem und Harnleitersegmente getrennt betrachtet, waren mit einer Prävalenz von 12,5% (11 von 88 Segmenten) bzw. 1,9% (5 von 262 Segmenten) erweitert. Die dilatierten Segmente fanden sich auf 10 Patienten bzw. 11 OAH verteilt (ein Patient mit beidseitiger Erweiterung). Durch die Auswertung der Patientenakten konnten 7 der 16 CT- Befunde zusätzlich bekräftigt werden.

4.2.3.2 Normaldosis- Patienten

Von den 307 in die Studie eingeschlossenen Segmenten der 42 Patienten, die mit dem Normaldosisprotokoll untersucht wurden, waren 47 dilatiert. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 15,3%. Im Einzelnen waren 16 von 81 Nierenbeckenkelchsystemen (19,8%) und 31 von 226 Harnleitersegmenten (13,7%) erweitert. Innerhalb dieser Gruppe wiesen 16 OAH von 13 Patienten dilatierte Anteile auf (3 Patienten mit beidseitiger Dilatation). 31% aller Patienten, die eine Normaldosis- CTU erhielten, zeigten eine Dilatation mindestens eines Segments. In 23 der 47 Fälle von Harnwegserweiterung wurde der CT- Befund überdies durch Informationen aus den Krankenakten bestätigt.

In der Gruppe der mit Normaldosis- CTU untersuchten Patienten war der Anteil erweiterter Harnwegssegmente signifikant höher ($p < 0,05$) als in der Niedrigdosisgruppe. Die Anteile erkrankter Patienten an der Gesamtzahl der Patienten in der jeweiligen Gruppe unterschieden sich jedoch nicht signifikant voneinander ($p > 0,25$), d.h. in der Normaldosisgruppe waren je betroffenem Patient im Schnitt mehr Segmente dilatiert.

4.2.4 *Kriterium Kompression*

4.2.4.1 *Niedrigdosis- Patienten*

Bei der Erstellung der Referenzdaten wurden innerhalb der Niedrigdosis- Gruppe 18 komprimierte Segmente an den oberen ableitenden Harnwegen von 13 Patienten (26,0% der Niedrigdosis Patienten) gefunden. Das entspricht einer Studienprävalenz von 5,1 % (18 von 350 Segmenten). Die meisten Kompressionen waren an den Nierenbeckenkelchsystemen lokalisiert, es waren 12 von 88 Segmenten (13,6%) betroffen. Die Harnleitersegmente waren zu 2,3% komprimiert (6 von 262 Segmenten). Bei einem der 13 Patienten lag eine beidseitige Kompression vor, bei zweien waren auf einer Seite zwei, bei einem drei Segmente der OAH komprimiert. Die Auswertung der Krankenakten bestätigte den positiven CT- Befund für 4 Segmente.

4.2.4.2 *Normaldosis- Patienten*

Bei den mit der Normaldosis- CTU untersuchten Patienten waren 20 von 307 OAH- Segmenten (6,5%) komprimiert. Im Einzelnen waren 9 von 81 Nierenbeckenkelchsystemen (11,1%) und 11 von 226 Harnleitersegmenten (4,9%) von außen eingeengt. Bei 16 Patienten (38,1% der Normaldosis-CTU- Patienten) lag eine Kompression eines oder mehrerer Harnleitersegmente vor (beidseitige Kompression und Kompression von 2 Segmenten einer Seite bei jeweils 2 Patienten). Für 10 komprimierte Segmente ließen sich aus den Krankenakten Informationen entnehmen, die das Vorliegen der Pathologie bestätigten.

Sowohl die gesamten oberen ableitenden Harnwege als auch Harnleiter und Nierenbeckenkelchsystem getrennt betrachtet, bestand kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Verteilung komprimierender Ereignisse auf Normal- bzw. Niedrigdosis- CTU- untersuchte Patienten (OAH, NBKS: $p > 0,5$; HL $p > 0,1$).

4.2.5 *Kriterium innere Obstruktion*

Sowohl in der Gruppe der mit Normal- wie auch in der mit Niedrigdosis untersuchten Patienten kamen Obstruktionen der OAH nur in geringer Fallzahl vor (Niedrigdosis: $n = 3$ Segmente, Normaldosis $n = 7$ Segmente). In der Normaldosisgruppe konnte für keines der obstruierten Segmente der zusätzliche Nachweis der Pathologie durch die Patientenakte erbracht werden, in der Niedrigdosisgruppe war dies in einem Fall möglich.

Niedrigdosis CTU		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	Anzahl der Segmente	88	262	88	88	86	350
Dilatation		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	dilatierte Segmente	11	5	4	1	0	16
	Anteil dilatierter Seg.	12,5%	1,9%	4,6%	1,1%	0,00%	4,6%
Kompression		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	komprimierte Segmente	12	6	1	2	3	18
	Anteil komprimierter Seg.	13,6%	2,3%	1,1%	2,3%	3,5%	5,1%
Obstruktion innen		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	obstruierte Segmente	1	2	1	1	0	3
	Anteil obstruierter Seg.	1,1%	0,8%	1,1%	1,1%	0,00%	0,9%
Dilat., Komp., Obstr. innen		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	pathologische Segmente	24	13	6	4	3	37
	Anteil pathologischer Seg.	27,3%	5,0%	6,8%	4,6%	3,5%	10,6%

Tabelle 4-6 Niedrigdosis CTU. Verteilung von Dilatation, Kompression und innerer Obstruktion im Patientengut. (NBKS: Nierenbeckenkelchsystem, HL: gesamt, PH: proximaler Harnleiter; MH: mittlerer Harnleiter, DH distaler Harnleiter; OAH obere ableitende Harnwege)

Normaldosis CTU		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	Anzahl der Segmente	81	226	81	77	68	307
Dilatation		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	dilatierte Segmente	16	31	11	11	9	47
	Anteil dilatierter Seg.	19,8%	13,7%	13,6%	14,3%	13,2%	15,3%
Kompression		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	komprimierte Segmente	9	11	3	0	8	20
	Anteil komprimierter Seg.	11,1%	4,9%	3,7%	0,0%	11,8%	6,5%
Obstruktion innen		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	obstruierte Segmente	3	4	1	1	2	7
	Anteil obstruierter Seg.	3,7%	1,8%	1,2%	1,3%	2,9%	2,3%
Dilat., Komp., Obstr. innen		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	pathologische Segmente	28	46	15	12	19	74
	Anteil pathologischer Seg.	34,6%	20,4%	18,5%	15,6%	27,9%	24,1%

Tabelle 4-7 Normaldosis CTU: Verteilung von Dilatation, Kompression und innerer Obstruktion im Patientengut. (NBKS: Nierenbeckenkelchsystem, HL: gesamt, PH: proximaler Harnleiter; MH: mittlerer Harnleiter, DH distaler Harnleiter; OAH obere ableitende Harnwege)

4.2.6 Einzelfallbeschreibungen

4.2.6.1 Niedrigdosispatienten: Einzelfallbeschreibungen unter Miteinbeziehung der Krankenakten

In nachstehenden Fällen positiver Befunde lagen neben der CT- Untersuchung zusätzlich affirmative Aussagen in den Krankenakten vor:

- Dilatation des NBKS und innere Obstruktion durch Nephrolithiasis mit Entstehung eines Steinbetts. Die perkutane Steinentfernung erbrachte den Nachweis einer Nierenperforation bei Nephrolithiasis (Dilatation n=1, innere Obstruktion n=1).
- Kompression des distalen Harnleiters durch das Rezidiv eines Ovarialkarzinoms mit konsekutiver Dilatation der drei Harnwegsabschnitte proximal davon (Dilatation n=3, Kompression n=1).
- Patient mit dilatiertem NBKS bei Kompression des NBKS und des proximalen Harnleiters durch eine narbige Strikture bei Zustand nach Ureterektomie (benigner HL- Tumor) zwei Monate zuvor (Dilatation n=1, Kompression n=2).
- Dilatation des NBKS bei der Anamnese einer rezidivierenden Nephrolithiasis. Steinextraktion zwei Monate zuvor (Dilatation n=1).
- Dilatiertes und komprimiertes NBKS bei engem Kontakt mit einem Polgefäß in der retrograden Ureteropyelographie. Zusätzlich in der MAG3- Szintigraphie eingeschränkte Partialfunktion der betroffenen Niere und Abflussstörung aus dem NBKS (Dilatation n=1, Kompression n=1).

Umgekehrt konnten für 11 Patienten ohne CT- morphologische Veränderungen der ableitenden Harnwege auch in den Krankenakten keinerlei Hinweise auf derartige Veränderungen gefunden werden. Für 3 Patienten lagen positive CT- Befunde vor, die jedoch keiner weiteren Evaluation unterzogen wurden. Dabei handelte es sich um parapelvine Zysten mit komprimierender Wirkung auf die Nierenbeckenkelchsysteme. Bei zwei Patienten lagen die Zysten einseitig, bei einem Patienten beidseits vor.

4.2.6.2 *Normaldosispatienten: Einzelfallbeschreibungen unter Miteinbeziehung der Krankenakten*

Analog zu den Niedrigdosispatienten konnten auch bei den Normaldosispatienten in etlichen Fällen positive Befunde durch die Informationen aus den Patientenakten bestätigt werden:

- Beidseitige distale Harnleiterkompression durch ein Cervixkarzinom und damit verbundene Dilatation der gesamten oberen ableitenden Harnwege davon (Dilatation n=8, Kompression n=2).
- Kompression von NBKS und proximalem HL mit konsekutiver Dilatation des NBKS auf dem Boden einer chronisch entzündlichen, tumorähnlichen Raumforderung des HL, die sich intraoperativ als verbacken mit Aorta und Muskulatur darstellte (Dilatation n=1 Kompression n=2).
- Dilatation aller Harnleitersegmente und des NBKS einer Seite aufgrund eines operativ gesicherten Urothelkarzinoms in einem ostiumnahen Harnleiterdivertikel mit komprimierender Wirkung. Nachweis im MRT. Im IVU mäßige Hydronephrose. (Dilatation n=4, Kompression n=1)
- Kompression des NBKS durch ein operativ gesichertes Lokalrezidiv eines Nierenzellkarzinoms bei Z. n. Nierenteilresektion (Kompression n=1).
- Dilatation von NBKS und proximalem HL bei Kompression des proximalen HL durch ein Urinom. Entstauung der Harnwege nach Punktion des Urinoms und Anlage einer Nierenfistel (Dilatation n=2, Kompression n=1).
- Kompression des distalen Harnleiters und Dilatation der drei proximal davon gelegenen Segmente der OAH aufgrund eines Krukenberg- Tumors (bei Z.n. Tumorgastrektomie) (Dilatation n=3, Kompression n=1).
- Dilatation des NBKS bei Kompression des proximalen HL. Zustand nach Ureterresektion bei Urothelkarzinom unter Entstehung einer Hydronephrose (Dilatation n=1, Kompression n=1).
- Kompression des distalen Harnleiters mit konsekutiver Dilatation aller vier Segmente der linken Seite bei gesichertem Endometriumkarzinom. Sonographisch dokumentierte, komplette Entstauung nach DJ- Anlage. In der retrograden Ureteropyelographie Einengung des HL von außen und Dilatation darüber (Dilatation n=4, Kompression n=1).

Wie bei den Patienten der Niedrigdosis- CTU, so waren auch bei den Normaldosispatienten 11 Patienten sowohl CT- morphologisch als auch hinsichtlich ihrer Krankenakten unauffällig bezüglich pathologischer Veränderungen an den oberen ableitenden Harnwegen. Bei 7 Patienten lagen CT- morphologische Veränderungen vor, die mit den Auskünften der Patientenakten nicht

weiter untermauert werden konnten: Bei einem Patienten war das NBKS erstgradig dilatiert, in drei Fällen lag eine Kompression des Nierenbeckenkelchsystems durch eine (auch sonographisch nachgewiesene) Nierenzyste vor. Ein weiterer Patient wies narbig- streifige Veränderungen mit Wandverdickung des Nierenbeckenkelchsystems und des proximalen Ureters auf. Bei einer Patientin waren die oberen ableitenden Harnwege beidseits in voller Länge dilatiert, CT-morphologisch wahrscheinlich auf dem Boden eines vesikoureteralen Refluxes postentzündlicher Genese. In einem Fall lag eine entzündliche Verdickung des Nierenbeckenkelchsystems vor, die im Sinne einer Pyelonephritis gedeutet wurde.

		Niedrigdosis- Gruppe			Normaldosis- Gruppe		
		CT-Befund positiv	Zusätzlich durch Patientenakten bekräftigte Befunde	Anteil	CT-Befund positiv	Zusätzlich durch Patientenakten bekräftigte Befunde	Anteil
NBKS	Dilatation	11	5	45,5%	16	8	50,0%
	Kompression	12	2	16,2%	9	2	22,2%
	Obstr. innen	1	1	100,0%	3	0	0,0%
Prox. HL	Dilatation	4	1	25,0%	11	6	54,5%
	Kompression	1	1	100,0%	3	3	100,0%
	Obstr. innen	1	0	0,0%	1	0	0,0%
Med. HL	Dilatation	1	1	100,0%	11	5	45,5%
	Kompression	2	0	0,0%	0	0	
	Obstr. innen	1	0	0,0%	1	0	0,0%
Dist. HL	Dilatation	0	0		9	4	44,4%
	Kompression	3	1	33,3%	8	5	62,5%
	Obstr. innen	0	0		2	0	0,0%
OAH	Dilatation	16	7	43,8%	47	23	48,9%
	Kompression	18	4	22,2%	20	10	50,0%
	Obstr. innen	3	1	33,3%	7	0	0,0%
Gesamt		37	12	32,4%	74	33	44,6%

Tabelle 4-8 Anhand der Patientenakten (Befunde aus Sonographien, Operationen, RUP, Zystoskopen, AÜS, IVU, Zystogrammen, Szintigraphien, MRT und Anamnese) nachgewiesene Veränderungen an Harnleitersegmenten im Verhältnis zu den gesamten pathologischen Segmenten im Rahmen der Studie.

4.3 Ergebnisse der CT-Urographie

4.3.1 Kriterium Dilatation

4.3.1.1 Normaldosis- CTU

In der Normaldosis- CTU wurden von 307 OAH- Segmenten 261 korrekt beurteilt (Befunder (B) 1: n= 264; B2: n= 258) und 43,5 als nicht beurteilbar eingestuft (B1:n=42, B2 n=45). In einem Fall lag ein falsch negativer (B1: n=0; B2 n=2) und in 1,5 Fällen ein falsch positiver Befund (B1: n=1; B2: n=2) vor. 25,5 Segmente wurden richtig positiv (B1: n=27; B2: n=24), ein Segment falsch negativ beurteilt (B1: n=0; B2: n=2). Daraus ergibt sich eine Sensitivität von 96,2% und eine Spezifität von 99,4% bezüglich der Erkennung von Erweiterungen der oberen ableitenden Harnwege in der Normaldosis- CTU.

4.3.1.2 Niedrigdosis- CTU

Die Niedrigdosis- CTU erbrachte in 314 von 350 Segmenten ein korrektes Ergebnis (B1: n=320; B2: n=308). 34 Segmente konnten nicht beurteilt werden (B1: n=30; B2 n= 38). Für je ein Segment ergab sich ein falsch negatives (B1: n=0; B2: n=2) bzw. falsch positives (B1: n=0; B2: n=2) Ergebnis. Für die Niedrigdosis- CTU wurde bezüglich des Kriteriums der Dilatation eine Sensitivität von 92,9% und eine Spezifität von 99,7% ermittelt. Von 14 dilatierten Harnwegssegmenten konnten in der Niedrigdosis- CTU 13 (B1: n=14; B2: n=12) als solche erkannt werden. Die genaue Verteilung der Befunde kann unten aufgeführter Tabelle entnommen werden.

Bezüglich Sensitivität und Spezifität in der Evaluation der oberen ableitenden Harnwege hinsichtlich des Kriteriums Dilatation lag kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Methoden vor (Sensitivität: $\chi^2= 0,010$, $p= 0,92$; Spezifität: $\chi^2= 0,062$, $p= 0,80$). Betrachtet man Nierenbeckenkelchsysteme und Harnleiter isoliert, offenbart sich zwischen beiden Methoden gleichfalls kein signifikanter Unterschied (Nierenbeckenkelchsysteme: Sensitivität: $\chi^2= 0,018$, $p= 0,89$; Spezifität: $\chi^2= 0,85$, $p= 0,36$; Harnleiter: Sensitivität: $\chi^2=0,009$, $p= 0,93$; Spezifität: $\chi^2= 1,31$, $p= 0,25$).

Dilatation		Niedrigdosis- CTU			Normaldosis- CTU		
		NBKS	HL	OAH	NBKS	HL	OAH
beurteilbare Segmente	dilatierte Segmente	10	4	14	12,5	14	26,5
	nicht dilatierte Seg.	77	225	302	65	172	237
	Gesamte Segmente	87	229	316	77,5	186	263,5
dilatierte Segmente	Richtig Positive	9	4	13	12,5	13	25,5
	Sensitivität	90,0%	100%	92,9%	100%	92,9%	96,2%
	Falsch Negative	1	0	1	0	1	1
	1- Sensitivität	10,0%	0,0%	7,1%	0,0%	7,1%	3,8%
nicht dilatierte Segmente	Richtig Negative	76,5	224,5	301	64,5	171	235,5
	Spezifität	99,4%	99,8%	99,7%	99,2%	99,4%	99,4%
	Falsch Positive	0,5	0,5	1	0,5	1	1,5
	1- Spezifität	0,7%	0,2%	0,3%	0,8%	0,6%	0,6%

Tabelle 4-9 Ergebnisse der CTU hinsichtlich des Kriteriums Dilatation.

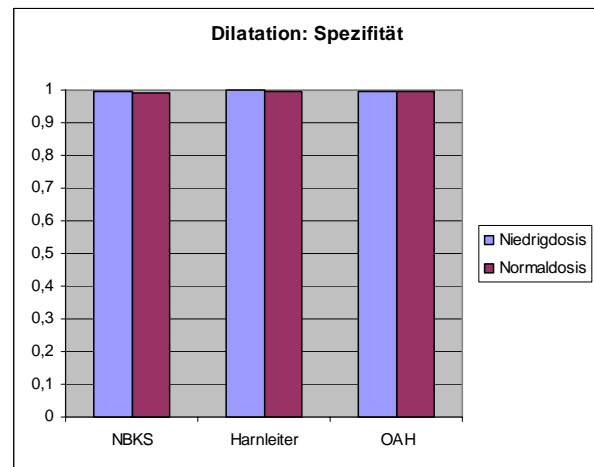
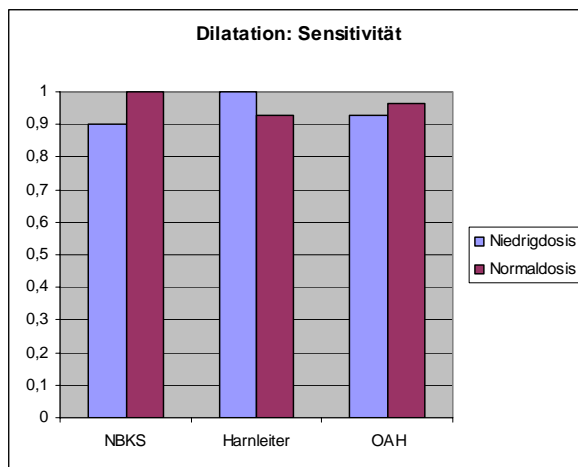


Abbildung 4-2 Kriterium Dilatation: Sensitivität und Spezifität im Vergleich Normaldosis/ Niedrigdosis.

4.3.1.3 Dilatation: Fallbeispiele

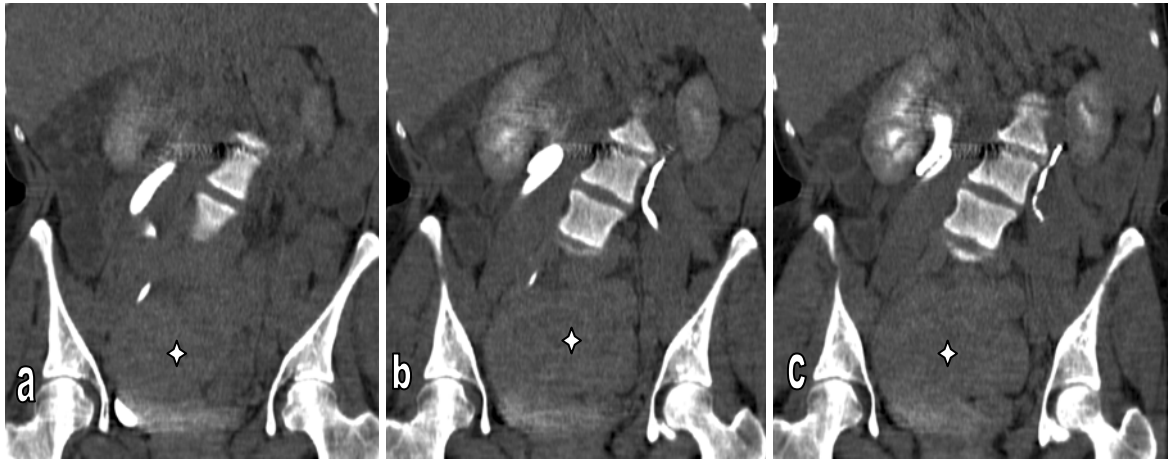


Abbildung 4-3 Stauung des rechten Ureters und Nierenbeckens bei Kompression durch einen großen Uterus myomatosus (20x20x13cm; mit Stern gekennzeichnet). Nebenfundlich ausgeprägte Skoliose. Niedrigdosis- CTU.

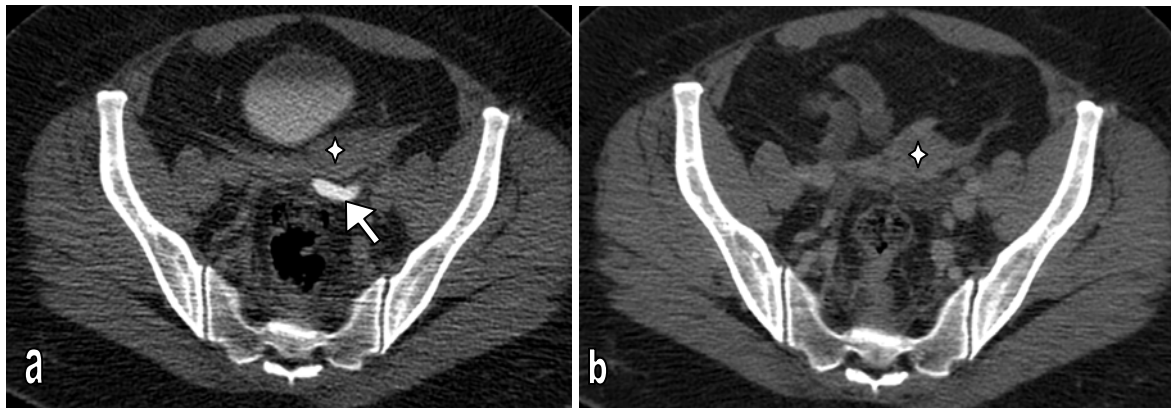


Abbildung 4-4 Dilatation des linken mittleren Ureters (Pfeil, a). Postoperatives Hämatom i. B. des kleinen Beckens (Stern). Auf der nativen Aufnahme (b) ist der Ureter trotz ausgeprägter Dilatation kaum abzugrenzen. Normaldosis-CTU.

4.3.2 Kriterium Kompression

4.3.2.1 Normaldosis- CTU

Mit der Fragestellung nach dem Vorliegen einer Kompression des oberen Harntrakts wurden in der Normaldosis- CTU von 307 OAH- Segmenten 260 korrekt beurteilt (B1: n=262; B2: n=258) und 43,5 (B1: n=42; B2: n=45) als nicht beurteilbar eingestuft. In 0,5 Fällen lag ein falsch negativer (B1: n=1; B2: n=0) und in 3 Fällen ein falsch positiver (B1: n=2; B2: n= 4) Befund vor. Kompressionen der oberen ableitenden Harnwege (OAH) konnten durch die Normaldosis- CTU mit einer Sensitivität von 96,4% bei einer Spezifität von 98,8% erkannt werden (13,5 richtig positive (B1: n=13, B2: n=14), 0,5 falsch negativ beurteilte Segmente).

4.3.2.2 Niedrigdosis- CTU

Die Niedrigdosis- CTU brachte für 311,5 (B1: n=317; B2: n=306) von 350 Segmenten ein korrektes Ergebnis. 34 Segmente (B1: n=30; B2: n=38) konnten nicht beurteilt werden. Für 1,5 Segmente (B1: n=2; B2: n=1) ergab sich ein falsch negatives und für 3 Segmente (B1: n=1; B2: n=5) ein falsch positives Ergebnis. Für die Niedrigdosis- CTU wurde bezüglich des Kriteriums Kompression eine Sensitivität von 90,9% und eine Spezifität von 99,0% ermittelt. Von 16,5 (B1: n=17 und B2: n=16) dilatierten Harnwegssegmenten konnten in der Niedrigdosis- CTU 15 (B1 und B2 n=15) als solche erkannt werden.

Damit lag kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Sensitivitäten bzw. Spezifitäten der beiden Methoden hinsichtlich der Erkennbarkeit von Kompressionen des oberen ableiten Harntraktes vor (Sensitivität: $\chi^2 = 0,013$, $p = 0,91$; Spezifität: $\chi^2 = 0,23$, $p = 0,63$). Auch in der isolierten Betrachtung der Nierenbeckenkelchsysteme und Harnleiter zeigten die Methoden keinen signifikanten Unterschied in ihrer Sensitivität/ Spezifität (Nierenbeckenkelchsysteme: Sensitivität: $\chi^2 = 0,52$, $p = 0,47$; Spezifität: $\chi^2 = 0,12$, $p = 0,72$; Harnleiter: Sensitivität: $\chi^2 = 0,058$, $p = 0,81$; Spezifität: $\chi^2 = 0,4$, $p = 0,53$).

Kompression		Niedrigdosis- CTU			Normaldosis- CTU		
		NBKS	HL	OAH	NBKS	HL	OAH
beurteilbare Segmente	komprimierte Segmente	12	4,5	16,5	9	5	14
	nicht komp. Seg.	75	224,5	299,5	68,5	181	249,5
	Gesamte Segmente	87	229	316	77,5	186	263,5
komprimierte Segmente	Richtig Positive	11	4	15	8,5	5	13,5
	Sensitivität	91,7%	88,9%	90,9%	94,4%	100%	96,4%
	Falsch Negative	1	0,5	1,5	0,5	0	0,5
	1- Sensitivität	8,3%	11,1%	9,1%	5,6%	0,0%	3,6%
nicht komprimierte Segmente	Richtig Negative	73	223,5	296,5	67,5	179	246,5
	Spezifität	97,3%	99,6%	99,0%	98,5%	98,9%	98,8%
	Falsch Positive	2	1	3	1	2	3
	1- Spezifität	2,7%	0,5%	1,0%	1,5%	1,1%	1,2%

Tabelle 4-10 Ergebnisse der CTU hinsichtlich des Kriteriums Kompression.

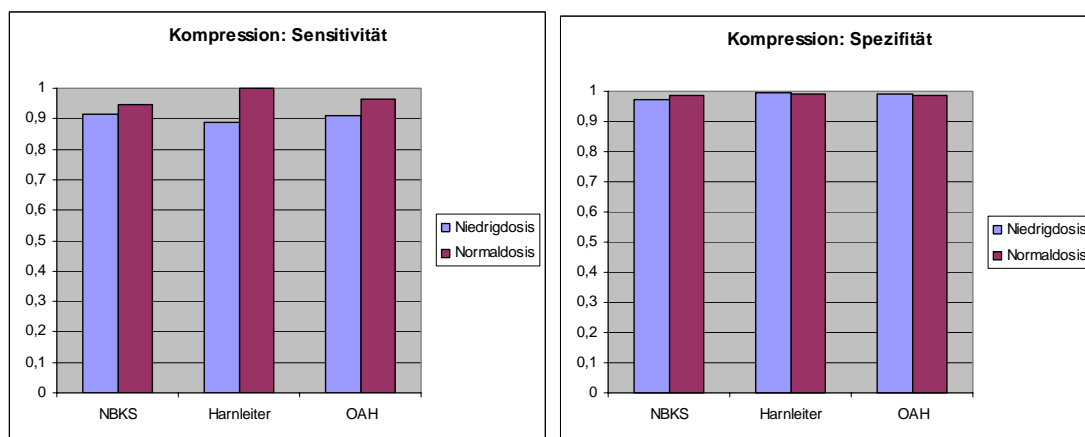


Abbildung 4-5 Kompression Sensitivität und Spezifität

4.3.2.3 Kompression: Fallbeispiele

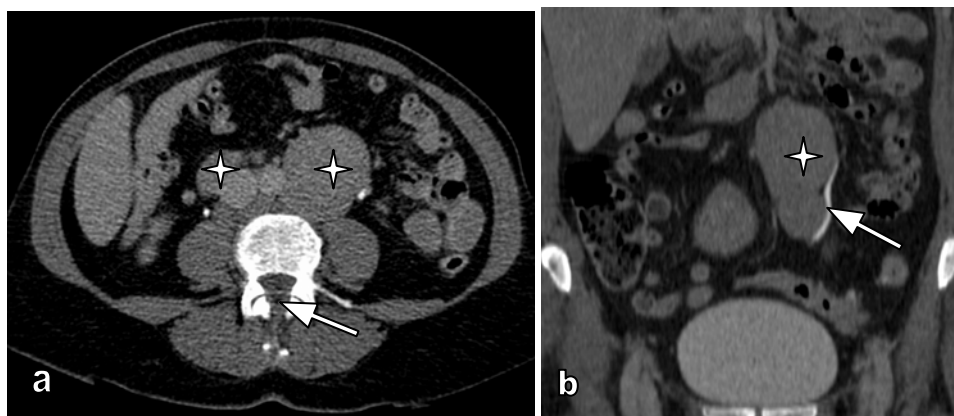


Abbildung 4-6 Ausgeprägte Lymphknoten- Bulks retroperitoneal (Sterne), welche den linksseitigen Ureter (Pfeil) ausspannen. Aorta und Vena cava sind nach rechts verdrängt. Niedrigdosis- CTU



Abbildung 4-7 Kompression des Nierenbeckenkelchsystems und proximalen Harnleiters durch postoperatives Narbengewebe bei Z.n. Ureterektomie. Niedrigdosis- CTU.



Abbildung 4-8 Kompression des linken Nierenbeckenkelchsystems durch eine parapelvine Zyste (Stern). Sonographisch bestand der Verdacht auf eine Harnstauungsniere. Niedrigdosis- CTU.

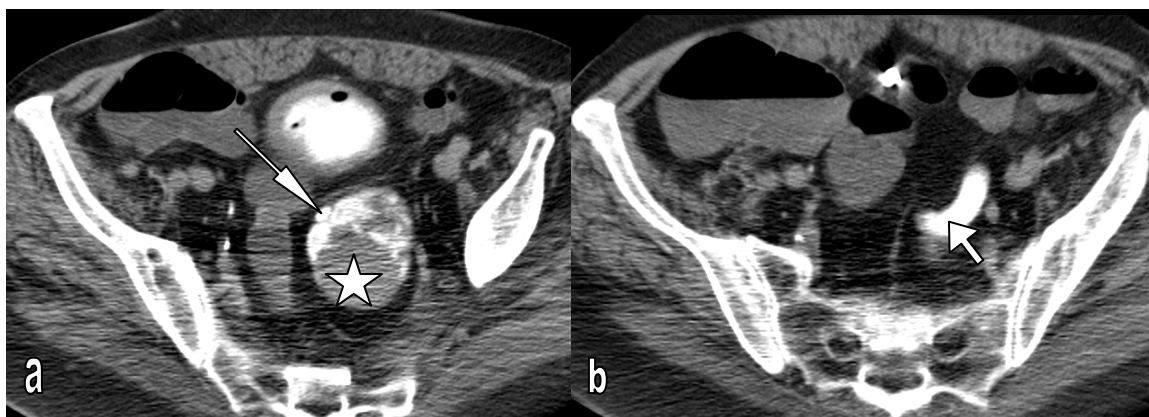


Abbildung 4-9 Dilatierter Ureter (a), mit Blutkoageln und Tumormasse (Urothel- Ca) gefülltes Divertikel (Stern) des Ureters. Das Divertikel komprimiert den Ureter (Pfeil). Über der Läsion ist der Harnleiter dilatiert (b). Normaldosis- CTU.

4.3.3 Kriterium innere Obstruktion

Bezüglich pathologischer Veränderungen an den Harnwegen mit innerer Obstruktion können im Folgenden aufgrund zu geringer Fallzahlen in dieser Studie nur deskriptive Aussagen getroffen werden.

Obstruktion innen		Niedrigdosis			Normaldosis		
		NBKS	HL	OAH	NBKS	HL	OAH
beurteilbare Segmente	obstruierte Segmente	1	0	1	3	2	5
	nicht obstr. Seg.	86	229	315	74,5	184	258,5
	Gesamte Segmente	87	229	316	77,5	186	263,5
Segmente mit innerer Obstruktion	Richtig Positive	0,5	0	0,5	3	2	5
	Sensitivität	50,0%	n. b.	50,0%	100%	100%	100%
	Falsch Negative	0,5	0	0,5	0	0	0
	1- Sensitivität	50,0%	n.b.	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Segmente ohne innerer Obstruktion	Richtig Negative	86	228,5	314,5	74,5	183,5	258
	Spezifität	100%	99,8%	99,8%	100%	99,7%	99,8%
	Falsch Positive	0	0,5	0,5	0	0,5	0,5
	1- Spezifität	0,0%	0,2%	0,2%	0,0%	0,3%	0,2%

Tabelle 4-11 Ergebnisse der CTU hinsichtlich des Kriteriums Obstruktion innen.
(n. b.: nicht berechenbar)

4.3.3.1 Normaldosis-CTU

Alle im Folgenden aufgeführten, pathologischen Veränderungen an den oberen ableitenden Harnwegen wurden von beiden Betrachtern in der Normaldosis-CTU erkannt und richtig als innere Obstruktion gewertet.

- In einem Fall handelte es sich um eine innere Obstruktion durch eine entzündliche Wandverdickung des Nierenbeckenkelchsystems (siehe Abbildung).

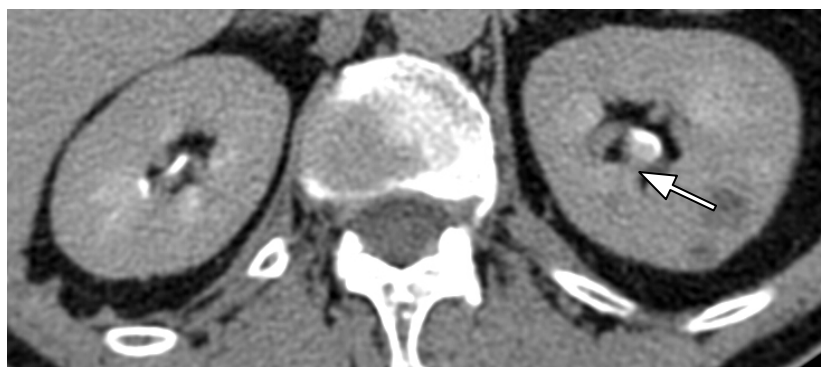


Abbildung 4-10 Obstruktion innen: Inflammatorisch verdickte Kelchwand.
Zusätzlich sind zwei kleine zystische Läsionen der linken Niere erkennbar.

- In einem weiteren Fall waren das rechte Nierenbeckenkelchsystem sowie die Wand des rechten proximalen Ureters von narbig- streifigen Induraten durchsetzt.

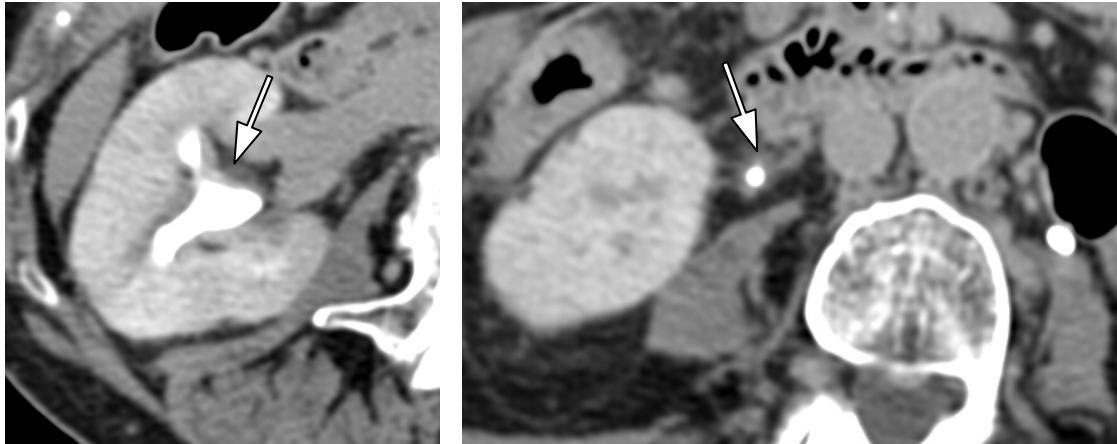


Abbildung 4-11 Narbig- streifige Verdickung des rechten Nierenbeckenkelchsystems und des rechten proximalen Ureters über eine Strecke von 1 cm.

- Eine Patientin wies entzündliche Veränderungen des Nierenbeckenkelchsystems und der ableitenden Harnwege auf. In diesem Kontext lagen das Nierenbeckenkelchsystem sowie der mittlere linke Harnleiter wandverdickt vor.

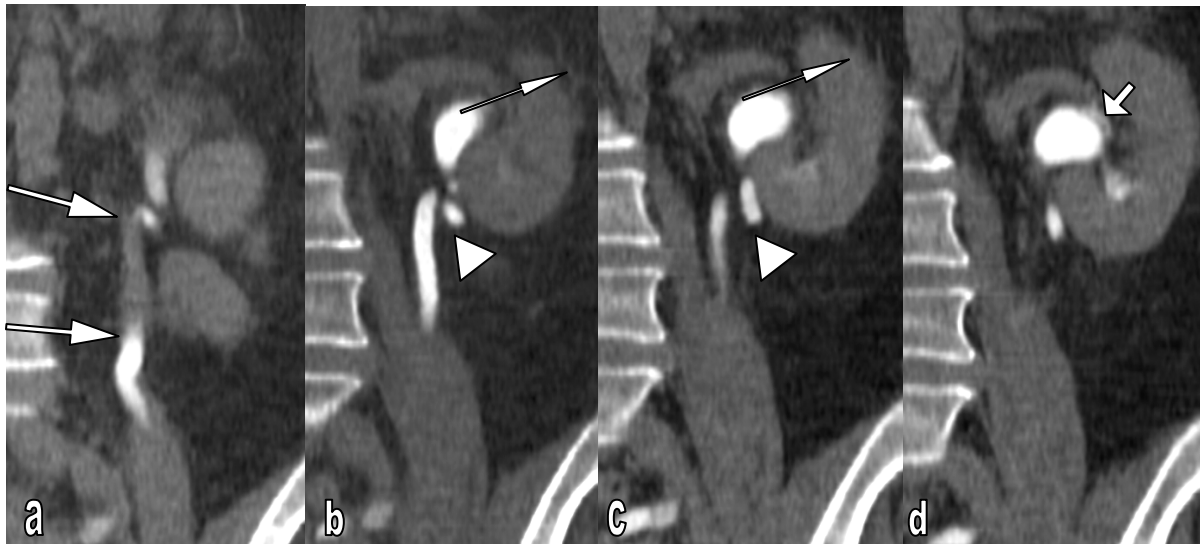


Abbildung 4-12 Temperatur von 38° C, Flankenschmerz, 7. Tag postoperativ (vaginale Hysterektomie). Entzündliche Verdickung von Harnleiter (a) und Nierenbecken (d). Harnstauung (a bis d) Perirenales Fettgewebe etwas imbibierte (b, c, dünne Pfeile). Ausgeprägtes Kinking im Bereich des proximalen Ureters (b, c, Pfeilspitzen)

4.3.3.2 Niedrigdosis- CTU

Nur einer der mit dem Niedrigdosis- Protokoll untersuchten Patienten wies eine innere Obstruktion auf: Dabei handelte es sich um eine tumorverdächtige Weichgewebsvermehrung in der Umgebung eines pelvinen Konkrements. Innerhalb des Nierenbeckenkelchsystems befanden sich zweitens große Konkremente, die zur Abszedierung und Perforation der Niere führten. Zusätzlich lag eine Dilatation des Nierenbeckenkelchsystems vor. Die Diagnose der nephrographischen CT bestätigte sich intraoperativ. Hinsichtlich der Weichgewebsvermehrung konnte ein maligner Ursprung nicht bestätigt werden, am ehesten handelte es sich hierbei um eine bindegewebige Umscheidung des Konkrements im Sinne eines Steinbetts. In der Niedrigdosis- CTU wurde diese Veränderung nur von einem der beiden Betrachter erkannt.



Abbildung 4-13 Abszedierung und Nierenperforation bei Nephrolithiasis. Obstruktion des Nierenbeckens von innen durch ein Konkrement mit umgebendem Weichgewebe (Pfeil, c). In der nativen sowie nephrographischen Kontrastmittelfase (a, b) ist die Weichgewebsvermehrung nur zu erahnen. Konkrementbedingte Abszedierung und Perforation der Niere (kurzer Pfeil, b)

4.3.4 Einflussfaktoren auf die Beurteilbarkeit der oberen ableitenden Harnwege

Betrachtet man den Anteil nicht beurteilbarer Segmente an der Gesamtzahl aller Harnwegssegmente, so stellt man fest, dass von proximal nach distal zunehmend mehr nicht ausreichend kontrastmittelgefüllte oder nicht von der Umgebung abgrenzbare Segmente vorlagen. Während die Nierenbeckenkelchsysteme zu nahezu 100% als beurteilbar eingestuft wurden, war dies bei den distalen Harnleitern nur noch zu 70 bis 80% der Fall. Genaue Werte können nachstehender Tabelle entnommen werden.

Niedrigdosis mit NaCl		NBKS	PH	MH	DH
	Gesamte Segmente	87	87	87	85
	beurteilbare Segmente	87	86	79,5	63,5
	Anteil	100,00%	98,85%	91,38%	74,71%
Normaldosis gesamt		NBKS	PH	MH	DH
	Gesamte Segmente	78	78	74	65
	beurteilbare Segmente	77,5	70	64,5	51,5
	Anteil	99,36%	89,74%	87,16%	79,23%
Normaldosis mit NaCl		NBKS	PH	MH	DH
	Gesamte Segmente	34	34	34	33
	beurteilbare Segmente	34	31	29	26,5
	Anteil	100,00%	91,18%	85,29%	80,30%
Normaldosis ohne NaCl		NBKS	PH	MH	DH
	Gesamte Segmente	44	44	40	32
	beurteilbare Segmente	43,5	39	35,5	23
	Anteil	98,86%	88,64%	88,75%	71,88%

Tabelle 4-12 Als beurteilbar gewertete Segmente. Durchschnittswerte beider Betrachter. Die ableitenden Harnwege stummer Nieren wurden nicht berücksichtigt.

Die optimale Darstellung der ableitenden Harnwege erfordert eine kräftige und zeitgleiche Füllung der Hohlorgane mit kontrastmittelvermengtem Urin, möglichst über deren gesamten Verlauf. Hierbei spielt die Funktion der Niere als Organ der Kontrastmittelausscheidung eine Schlüsselrolle. Neben der Exkretionsleistung der Nieren als Grundvoraussetzung für die Kontrastmittelausscheidung besteht auch eine Abhängigkeit von der Delay- Zeit, also dem Zeitraum zwischen Kontrastmittelapplikation und Bildakquisition (38). Darüberhinaus spiegelt sich die applizierte Strahlendosis über das Signal- Rausch- Verhältnis in der Abbildungsqualität wider. Eine unmittelbare Auswirkung hat außerdem der Leibesumfang, weil mit zunehmender Materieschichtdicke die Wechselwirkungen zwischen Röntgenstrahlung und Materie zunehmen, mit dem Resultat einer reduzierten Bildqualität (32,34).

4.3.4.1 *Nierenfunktion*

Die Kreatininkonzentration i. S. lässt in gewissem Maße Rückschlüsse auf die Nierenfunktion und damit auf die Exkretionsleistung für intravenös verabreichtes Kontrastmittel zu (15,31,71). Der Mittelwert für die Kreatininkonzentration im Serum der Patienten in der Niedrigdosisgruppe lag bei 1,036 mg/dl, bei einer Spanne zwischen 0,6 und 1,4 mg/dl und einem Median von 1 mg/dl. Es lag kein signifikanter Unterschied ($p=0,64$) im Vergleich zur Normaldosisgruppe vor, deren mittlere Kreatininkonzentration 1,06 mg/dl betrug. Die Werte in dieser Gruppe waren um einen Median von 1,1 mg/dl gestreut, mit dem Maximalwert von 1,4 mg/dl und Minimalwert von 0,7 mg/dl.

Die ableitenden Harnwege stummer Nieren, die a priori keine Füllung zeigen können, wurden aus den Betrachtungen hinsichtlich der Beurteilbarkeit der ableitenden Harnwege ausgeschlossen. Einseitig stumme Nieren lagen bei insgesamt 4 Patienten vor (1 Pat. Niedrigdosis, 2 Pat. Normaldosis mit NaCl, 1 Pat. Normaldosis ohne NaCl).

4.3.4.2 *Laterolateraler, anteroposteriorer Durchmesser und Umfang des Abdomens*

Die standardisierte Vermessung der Patienten auf Höhe des Beckeneingangs erbrachte folgende Ergebnisse: Der laterolaterale Durchmesser betrug für die Niedrigdosis- Patienten im Mittel 33,2 cm, für die Normaldosis- Patienten 32,7 cm. Die einzelnen Messwerte lagen zwischen 26,9 und 39,0 cm (Niedrigdosis) und 26,7 und 40,0 cm (Normaldosis), bei einem Median von 33,7cm (Niedrigdosis) respektive 33,1 cm (Normaldosis). Damit bestand kein signifikanter Unterschied ($p=0,56$) zwischen den beiden Gruppen. Ebenso lag hinsichtlich des anteroposterioren Durchmessers Gruppengleichheit vor ($p=0,69$). Innerhalb der Niedrigdosisgruppe waren die Werte bei einem Mittelwert von 21,9 cm zwischen 15,7 und 26,5 cm gestreut, um einen Median von 22,1 cm. In der Normaldosisgruppe lag der Mittelwert bei 22,3 cm, der Median bei 22,5 cm. Die Maximal- und Minimalwerte betrugen 33,0 bzw. 15,8 cm. Genauso bestand auch hinsichtlich des Körperumfanges kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p=0,41$).

4.3.4.3 Abhängigkeit von der applizierten Dosis

Niedrigdosis- CTU mit NaCl- Infusion im Vergleich zur Normaldosis- CTU mit NaCl- Infusion

Die Anteile der beurteilbaren Segmente unterschieden sich zwischen Niedrig- und Normaldosisprotokoll nicht signifikant ($p > 0,25$). Die Nierenbeckenkelchsysteme waren in beiden Gruppen vollständig beurteilbar. Die geringfügig besseren Resultate der Niedrigdosis- CTU in der Darstellung der Harnleitersegmente waren statistisch nicht signifikant. In der Einstufung eines Segments als „nicht beurteilbar“ bestand sowohl für die Niedrigdosis- als auch für die Normaldosis- CTU eine gute bis sehr gute ($\kappa > 0,65$) Konkordanz zwischen den beiden Betrachtern.

5 bis 20 min Delay		NBKS	PH	MH	DH
Normaldosis mit NaCl- Infusion	beurteilbar	31	28	26	26
	gesamt	31	31	31	30
	Anteil	100,0%	90,3%	83,9%	86,7%
Niedrigdosis mit NaCl- Infusion	beurteilbar	55	54	50,5	40,5
	gesamt	55	55	55	43
	Anteil	100,0%	98,2%	91,8%	94,2%

Tabelle 4-13 Verteilung beurteilbarer Segmente. Delay 5 bis 20 Minuten.
Normaldosis und Niedrigdosis mit Kochsalzinfusion.

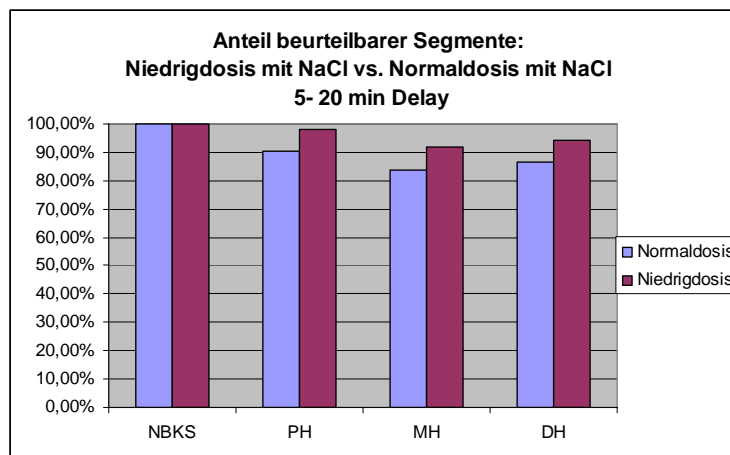


Abbildung 4-14 Beurteilbarkeit: Normaldosis- CTU mit NaCl vs. Niedrigdosis- CTU mit NaCl. Delay zwischen 5 und 20 Minuten.

4.3.4.4 Abhängigkeit von der NaCl- Infusion

Normaldosis- CTU mit NaCl- Infusion im Vergleich zur Normaldosis- CTU ohne NaCl- Infusion

Der Vergleich zwischen den Aufnahmen, die nach dem Niedrigdosis- bzw. Normaldosisprotokoll mit NaCl- Infusion und einem Delay von 5 bis 20 Minuten erstellt wurden, erbrachte für keines der Segmente der oberen ableitenden Harnwege einen statistisch signifikanten Unterschied ($p > 0,5$ für NBKS, PH, MH) in der Beurteilbarkeit. Im Bereich des distalen Harnleiters erbrachte die Normaldosis- CTU mit Kochsalzlösung einen etwas, aber nicht signifikant höheren ($p > 0,25$) Anteil beurteilbarer Segmente. Es bestand eine gute bis sehr gute ($\kappa > 0,75$) Übereinstimmung hinsichtlich der als nicht beurteilbar bewerteten Segmente.

5 bis 20 min Delay		NBKS	PH	MH	DH
Normaldosis mit NaCl- Infusion	beurteilbar	31	28	26	26
	gesamt	31	31	31	30
	Anteil	100,0%	90,3%	83,9%	86,7%
Normaldosis Ohne NaCl- Infusion	beurteilbar	41,5	37	33,5	21
	gesamt	42	42	38	30
	Anteil	98,8%	88,1%	88,2%	70,0%

Tabelle 4-14 Verteilung beurteilbarer Segmente. Delay 5 bis 20 Minuten.
Normaldosis mit NaCl- Infusion vs. Normaldosis ohne NaCl- Infusion.

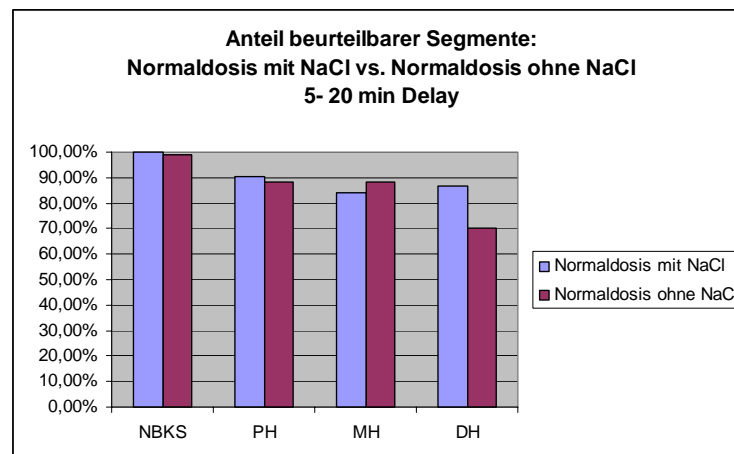


Abbildung 4-15 Beurteilbarkeit: Normaldosis- CTU mit NaCl vs. Normaldosis- CTU ohne NaCl 5 bis 20 min Delay.

4.3.4.5 Abhängigkeit von der Delay- Zeit

4.3.4.6 Delay

Es kam zu Schwankungen der Zeiträume zwischen Kontrastmittelapplikation und Aufzeichnung der Ausscheidungsaufnahmen (Delay- Zeiten) aufgrund verschiedener Gegebenheiten seitens der Patienten und des täglichen Routinebetriebs in unserer Abteilung. Die Zeit zwischen Verabreichung des Kontrastmittels und der Aufzeichnung der Ausscheidungsaufnahmen betrug bei den mit dem Niedrigdosis- Protokoll untersuchten Patienten im Mittel 19 Minuten, bei einem von Median 16 Minuten und einer Streuung der Zeiten zwischen minimal 7 und maximal 46 Minuten. Die Normaldosis- Patienten wurden zwischen 5 und 44 Minuten nach KM- Applikation bei einem Mittelwert von 11 und einem Median von 9 Minuten untersucht. Im Mittel lag somit die Delay- Zeit in der Niedrigdosis- Gruppe um 8 Minuten höher als in der Normaldosisgruppe. Die längere Delay- Zeit war bewusst gewählt worden, unter der Erwartung besserer Abbildungseigenschaften der Harnwege. Wie folgende nähere Betrachtungen jedoch zeigten, erbrachte die längere Delay- Zeit keinen statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des Anteils der als beurteilbar gewerteten Segmente (siehe dazu Kap. 4.3.4.3).

Niedrigdosis- CTU: Delay				Normaldosis- CTU: Delay			
		Zeitraumen	Patientenzahl			Zeitraumen	Patientenzahl
Median	15,5 min	5 bis 10 min	11	Median	9 min	5 bis 10 min	26
Mittelwert	19,2 min	11 bis 20 min	21	Mittelwert	10,9 min	11 bis 20 min	13
Max	46 min	21 bis 30 min	9	Max	44 min	21 bis 30 min	2
Min	7 min	>= 31 min	9	Min	5 min	>= 31 min	1

Tabelle 4-15: Delay: Verteilung der Patienten. Niedrig- und Normaldosis- CTU.

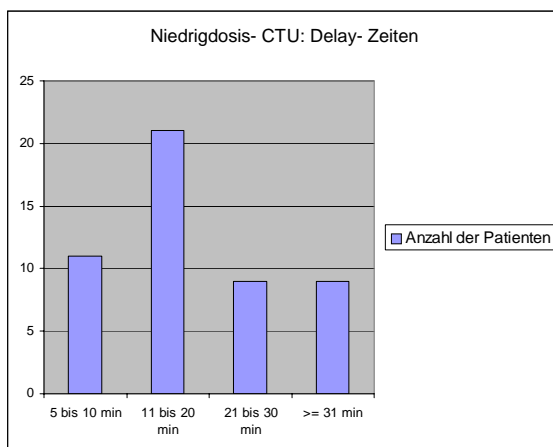


Abbildung 4-17 Niedrigdosis- CTU: Verteilung der Patienten nach Delay- Zeiten.

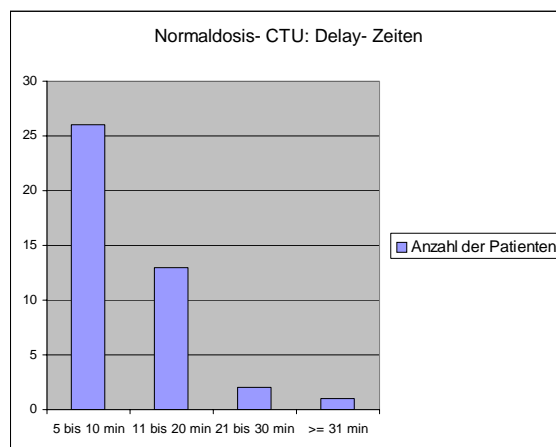


Abbildung 4-16 Normaldosis- CTU: Verteilung der Patienten nach Delay- Zeiten.

Die Patienten der Normaldosisgruppe wurden zu einem höheren Anteil früher (Delay- Zeit 5 bis 20 Minuten; 93% der Patienten) untersucht, als diejenigen Patienten, die der Niedrigdosis- Gruppe angehörten (64% im Zeitraum 5 bis 20 Minuten nach KM- Gabe).

4.3.4.6.1 Niedrigdosis- CTU mit Kochsalzinfusion

In der Gruppe der Niedrigdosis- CTU- Patienten wurden mit einer Delay- Zeit zwischen 5 und 10 Minuten nach Kontrastmittelgabe je 17 Nierenbeckenkelchsysteme, proximale und mittlere Harnleiter untersucht, die komplett als beurteilbar bewertet wurden. Von den 15 distalen Harnleitern wurden 13 als beurteilbar bemessen. Im Zeitraum zwischen 11 und 20 Minuten nach KM- Gabe erfolgten in der Niedrigdosis- CTU 38 Untersuchungen der kompletten Harnleiter mit Nierenbeckenkelchsystemen. Die Nierenbeckenkelchsysteme konnten in allen Fällen die proximalen Harnleiter in 37, die medialen in 33,5 und die distalen in 27,5 Fällen beurteilt werden.

In der Niedrigdosis- CTU mit Kochsalzinfusion erbrachte die gegenüber einer Delay- Zeit zwischen 5 und 10 Minuten verlängerte Delay- Zeit zwischen 11 und 20 Minuten für keines der Segmente eine statistisch relevante Veränderung ($p > 0.5$) hinsichtlich des Anteils beurteilbarer Segmente. Jedoch scheint ein Delay von 5 bis 10 Minuten tendentiell eine bessere Abbildung insbesondere der mittleren und distalen Harnleitersegmente zu erbringen.

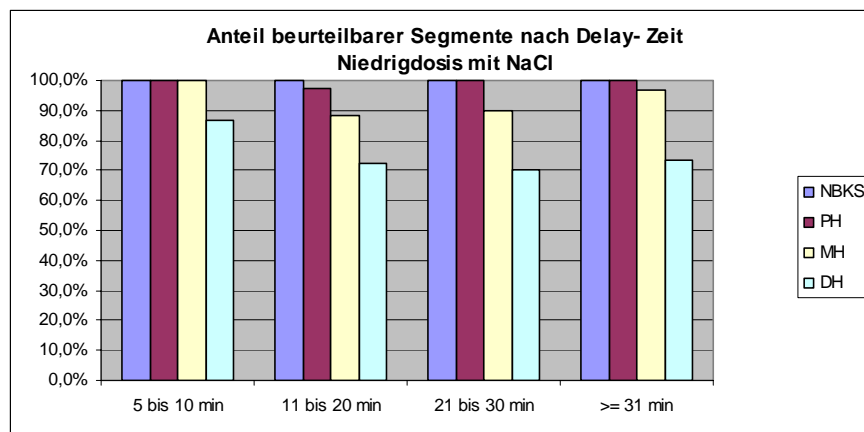


Abbildung 4-18 Niedrigdosis- CTU mit Kochsalzinfusion: Anteil beurteilbarer Harnleitersegmente in Abhängigkeit von der Delay- Zeit.

Im Zeitraum zwischen 21 und 30 Minuten nach KM- Gabe wurden je 15 NBKS, PH, MH und DH untersucht, nach einem Delay von > 31 Minuten jeweils 17 Segmente. Die Nierenbeckenkelchsysteme und proximalen Harnleiter waren zu 100 % beurteilbar, der mittlere Harnleiter zu 90% (21 bis 30 min) bzw. 97,1 % (≥ 31 min) und der distale Harnleiter zu 70% (21

bis 30 min) bzw. 73,5% (≥ 31 min). Im Vergleich zu den Aufnahmen nach einem Delay von 5 bis 10 bzw. 11 bis 20 Minuten ergab sich für keines der Segmente ein signifikanter Unterschied durch die längere Wartezeit (p durchwegs $>0,5$, einzig der Vergleich für MH ≥ 31 min vs. MH 5 bis 10 min erbrachte einen Wert $p > 0,25$).

4.3.4.6.2 Normaldosis- CTU mit Kochsalzinfusion

Gleichermaßen erbrachte die längere Delay- Zeit auch für die Normaldosis- CTU mit Kochsalzinfusion keinen signifikant höheren Anteil beurteilbarer Segmente gegenüber der kürzeren Delay- Zeit. Die Nierenbeckenkelchsysteme waren unabhängig von der Delay- Zeit zu 100% beurteilbar. Alle drei Harnleitersegmente zeigten gering bessere Abbildungseigenschaften im späteren Untersuchungszeitraum, jedoch ohne statistische Signifikanz ($p > 0,25$).

Im Zeitraum von 5 bis 10 Minuten nach KM- Gabe wurden in der Normaldosis- Gruppe mit Kochsalzinfusion 10 Nierenbeckenkelchsysteme, proximale und mittlere Harnleiter untersucht, sowie 9 distale Harnleitersegmente (davon beurteilbar: NBKS: 10 NBKS, PH: 8, MH: 7, DH: 6,5). Im Zeitraum zwischen 11 und 20 Minuten nach KM- Gabe erfolgten in der Normaldosis- CTU mit Kochsalzinfusion 21 Untersuchungen kompletter Harnleiter und Nierenbeckenkelchsysteme (beurteilbare Segmente: NBKS: 21, PH: 20, MH: 19, DH: 19,5)

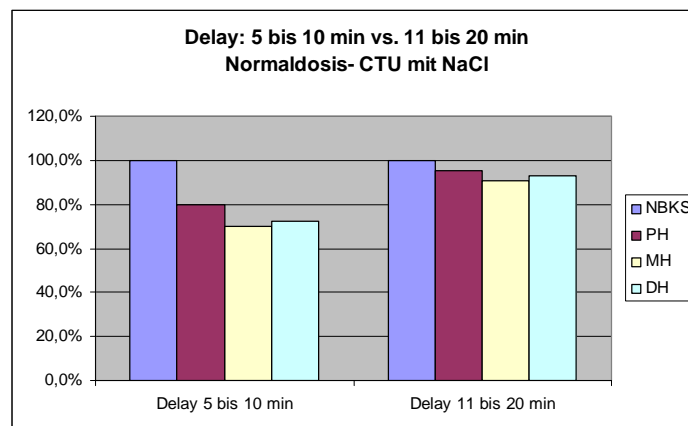


Abbildung 4-19 Normaldosis- CTU mit Kochsalzinfusion: Anteil beurteilbarer Harnleitersegmente in Abhängigkeit von der Delay- Zeit.

4.3.5 Applizierte Strahlendosis

Es wurden durchschnittliche Scanlängen von 34 cm für Männer und 33 cm für Frauen ermittelt und nachfolgenden Berechnungen zugrunde gelegt. Für die CT-Urographie ergaben die Dosisberechnungen folgende Ergebnisse:

4.3.5.1 Normaldosis- CTU:

Alle Patienten wurden mit einer Röhrenspannung von 120 kV, einem pitch von 1, einer Rotationszeit von 0,75 s und einer Kollimation von 4x 2,5 mm untersucht. Die Röhrenstromstärke betrug zwischen 175 mA und 332 mA für Frauen und 210 und 332 für Männer. Die durchschnittliche Stromstärke betrug für Frauen 276 mA und für Männer 292 mA.

Die applizierte effektive Dosis lag für die Normaldosis- CTU zwischen 5,6 mSv und 8,8 mSv für Männer und zwischen 7,3 mSv und 13,8 mSv für Frauen. Im Durchschnitt lag die Dosis für die Normaldosis- CTU bei Männern bei 7,8 mSv, beim weiblichen Geschlecht bei 11,5 mSv.

4.3.5.2 Niedrigdosis- CTU

Die Niedrigdosis- CTU wurde gewichtsabhängig nach zwei verschiedenen Parametereinstellungen am CT- Gerät angefertigt: bei Patienten mit einem Gewicht von unter 80 kg wurde mit einer elektrischen mA von 35 untersucht (w: n=6; m: n=3). Bei einem Körpergewicht ab 80 kg wurden 52 mA verwendet (w: n= 24; m: n= 17). Durchschnittlich betrug der Röhrenstrom sowohl für Männer als auch Frauen 49 mA.

Für Männer errechnete sich eine minimale effektive Dosis von 0,7 mSv und eine maximale Dosis von 1,1 mSv, bei Frauen lagen die Werte bei 1,1 bzw. 1,6 mSv. Die durchschnittlich applizierte effektive Dosis lag bei 1,0 mSv bei Männern bzw. 1,6 mSv bei Frauen.

Das Niedrigdosis- Protokoll lässt somit für Männer im Durchschnitt eine Reduktion der effektiven Dosis um den Faktor 7,8 zu, bei Frauen ist eine Reduktion um den Faktor 7,2 möglich.

4.3.5.3 Effektivdosis der gesamten Untersuchung:

Die computertomographische Untersuchung umfasste einen Scan des gesamten Abdomens und Beckens in portalvenöser bzw. nephrographischer Phase in Normaldosis. Im Durchschnitt lagen die effektiven Dosen hierfür bei 10,2 mSv für Männer (Scanlänge 43 cm) und bei 13,2 mSv (Scanlänge 40 cm) für Frauen. Zuzüglich der Dosis, die im Schnitt für die CTU benötigt wurde, ergeben sich folgende Ergebnisse: Patienten der Normaldosis- CTU- Gruppe wurden durchschnittlich mit einer Gesamtdosis von 15,0 mSv (Männer) bzw. 20,2 mSv (Frauen) untersucht. Für Patienten der Niedrigdosisgruppe lag die Gesamtdosis im Schnitt bei 9,6 mSv

(Männer) bzw. 12,6 mSv (Frauen). Sofern die Fragestellung es erforderte, wurde zusätzlich ein nativer Scan des gesamten Abdomens und Beckens in Niedrigdosistechnik angefertigt. Die Effektivdosis erhöhte sich dadurch um rechnerisch um 1,1 mSv für Männer bzw. 1,8 mSv für Frauen.

	Normaldosis- CTU		Niedrigdosis- CTU	
	m	w	m	w
Native Phase (Niedrigdosis)	1,3 mSv	1,8 mSv	1,3 mSv	1,8 mSv
Portalvenöse/ nephrographische Phase	10,2 mSv	13,2 mSv	10,2 mSv	13,2 mSv
CT-Urographie	7,8 mSv	11,5 mSv	1,0 mSv	1,6 mSv
Gesamtdosis	19,3 mSv	26,5 mSv	12,5 mSv	16,6 mSv

Tabelle 4-16 Durchschnittliche Strahlenexposition je Scan und errechnete Gesamtdosis einer kompletten Untersuchung mit nativer, portalvenöser oder nephrographischer Phase sowie CT-Urographie.

5 Diskussion

Dank der rasanten Weiterentwicklung der Computertomographietechnik von der Einzelschicht-CT über die Spiral-CT hin zur Mehrzeilen- Spiral-CT ist es heute möglich, innerhalb kürzester Zeit Volumendatensätze mit hoher Auflösung zu akquirieren und die zu untersuchende Körperregion in mehreren Kontrastmittelphasen abzubilden. In den letzten Jahren wurden damit die technischen Voraussetzungen für die Entwicklung einer neuartigen CT-Untersuchungstechnik geschaffen: In Anlehnung an das bewährte i.v.-Urogramm, das lange Zeit die Standardtechnik einer universellen bildgebenden Untersuchung der Nieren und ableitenden Harnwege darstellte, entstand das Konzept der auf Schnittbildern basierenden CT-Urographie.

Die Computertomographie hat klassische Indikationen des i.v.-Urogramms übernommen und sie als Methode der Wahl zur Evaluation renaler Raumforderungen bereits abgelöst (2,83,86). Seit einiger Zeit findet die Computertomographie zunehmend auch zur Abklärung von Fragestellungen Anwendung, die sich auf die ableitenden Harnwege beziehen. 1995 beschrieben Smith et al. (78) als erste die native Spiral-CT zur Abklärung akuter Flankenschmerzen. Seither konnte in zahlreichen Studien die diagnostische Überlegenheit der nativ-CT des Abdomens gegenüber konventionellen Abdomenübersichtsaufnahmen und der Ausscheidungsurographie nachgewiesen werden (7,26,28,46,61,74,78-80). Die Vorteile liegen auf der Hand: bei kurzer Untersuchungszeit und ohne die Verabreichung von Kontrastmitteln können Harnleitersteine mit hoher Sensitivität und Spezifität nachgewiesen werden. Durch Dichtemessungen können alle (auch die in der konventionellen Abdomenübersichtsaufnahme nicht schattengebenden) Steinarten eindeutig lokalisiert und verifiziert werden. Darüber hinaus können auch Organe und Gewebe in der Umgebung der ableitenden Harnwege beurteilt und in differenzialdiagnostische Überlegungen miteinbezogen werden. Die Hauptlimitation erfuhr die native Spiral-CT des Abdomens aufgrund der gegenüber dem i.v.-Urogramm bis zu dreifach höheren Strahlenexposition mit effektiven Dosen zwischen 4,3 und 4,7 mSv (13). Um diesem Problem zu begegnen, wurden Bemühungen angestellt, spezielle Niedrigdosisprotokolle zu entwickeln. Modifikationen der Untersuchungsparameter wie die Absenkung der Röhrenstromstärke oder die Erhöhung des Pitchfaktors machten eine deutlich Reduktion der effektiven Ganzkörperdosis möglich ((0,97 mSv bei Männern, 1,35 mSv bei Frauen (Knöpfle et al.) (40); 0,98 bei Männern, 1,50 bei Frauen (Hamm et al.) (27); 1,2 mSv bei Männern, 1,9 mSv bei Frauen (Tack et al.)(84)). Damit bewegt sich die effektive Dosis der Niedrigdosis- Nativ-CT durchaus im Rahmen derjenigen einer i.v.-Urographie mit 3 Aufnahmen, ohne dass durch die Dosiseinsparung die Aussagekraft gegenüber der konventionellen nativ-CT des Abdomens hinsichtlich der Fragestellung einer Urolithiasis

gemindert wäre (27,40,84). Zur Abklärung akuter Flankenschmerzen darf die native Niedrigdosis-Spiral-CT als Methode der Wahl gelten (27).

Während die Überlegenheit der nativen, arteriellen und nephrographischen CT-Untersuchungen in der Abklärung renaler Raumforderungen und der Nephrolithiasis bereits allgemein anerkannt ist, ist die CT-Urographie unter Anfertigung computertomographischer Kontrastmittelausscheidungsufnahmen noch eine recht junge Methode. Die CT-Urographie zielt auf eine (über die Urolithiasis hinausgehende) Evaluation der ableitenden Harnwege ab. Mögliche Indikationen umfassen beispielsweise die Abklärung primärer oder sekundärer Raumforderungen der Harnwege, die Beurteilung des Harnleiterverlaufs und seines Lumens sowie dessen Beziehung zu den umgebenden Strukturen. Den Begriff „CT-Urographie“ schufen Perlman et al. (62) im Jahre 1996. Im Anschluss an eine konventionelle i.v.-Urographie unterzogen sie Patienten mit suspekten Befunden an Nieren und ableitenden Harnwegen einer weiteren Evaluation am Computertomographen. Seither wurden verschiedene Anstrengungen unternommen, die Technik der CT-Urographie zu optimieren, was dazu geführt hat, dass derzeit in der Literatur keine einheitlichen Angaben darüber existieren, welches untersuchungstechnische Procedere der Begriff „CT-Urographie“ exakt bezeichnet. Allgemeingültig kann aber festgestellt werden, dass es sich um eine Form der Urographie handelt, die ganz oder teilweise auf der Erstellung axialer Schnittbilder basiert. Zur computertomographischen Untersuchung der Harnwege wird ein Datensatz dünn-schichtiger axialer Aufnahmen von Nieren, Ureteren und Harnblase erzeugt. Aus diesem Datensatz werden anschließend überlappende Rekonstruktionen angefertigt, die als Quelle für die Berechnung koronarer, in manchen Fällen auch sagittaler oder dreidimensionaler Darstellungen dienen (60).

Vorläufige Ergebnisse deuten darauf hin, dass mithilfe der CT-Urographie sowohl maligne als auch benigne Läsionen der oberen ableitenden Harnwege und der Harnblase exakt identifiziert und zutreffend diagnostiziert werden können (60). Wie jede neue Methode, so ist auch die CT-Urographie Gegenstand kontroverser Diskussionen. Zu den größten Vorteilen der CT-Urographie zählt, dass sie eine vollständige Analyse des Harntrakts in nur einer einzigen Untersuchung ermöglicht. Die Kombination von Ausscheidungsufnahmen mit nativen und portalvenösen Scans ermöglicht eine im Vergleich zum Ausscheidungsurogramm verbesserte Sensitivität in der Auffindung von Konkrementen und Nierentumoren. Darüber hinaus können auch die Wände der ableitenden Harnwege beurteilt werden und nicht nur, wie es beim Ausscheidungsurogramm der Fall ist, die inneren Oberflächen. Zugleich mit der Entdeckung eventueller Tumore kann deren Stadieneinteilung erfolgen. Zusätzlich können Pathologien erfasst werden, welche außerhalb des Harntrakts liegen. Die Nachteile der CT-Urographie bestehen unter anderem darin, dass derzeit noch kein Konsens darüber besteht, welche Technik die am besten geeignete ist. Die größte

Einschränkung erfährt die CT-Urographie jedoch durch die erhöhte Strahlenexposition des Patienten, insbesondere wenn mehrphasische Untersuchungen durchgeführt werden (60).

Um diesem Problem zu begegnen, wurde am Institut für klinische Radiologie der LMU ein Niedrigdosisprotokoll für die CT-Urographie entwickelt, das dort seit Mai 2003 anstelle der Normaldosis-CTU Anwendung findet. Analog der Niedrigdosis-Spiral-CT zur Abklärung der Urolithiasis wird hierbei der hohe Gewebekontrast zwischen dem mit einem Stein bzw. mit Kontrastmittel gefüllten Harnleiter und seiner Weichgewebsumgebung genutzt.

Die Auswertung von 42 Normal- sowie 50 Niedrigdosis CT-Urographien im Rahmen dieser Studie zeigt, dass anhand CT-urographischer Ausscheidungsaufnahmen ein breites Spektrum von Veränderungen der oberen Harnwege nachgewiesen werden kann. Es wurden benigne Läsionen wie parapelvine Zysten oder Entzündungen dokumentiert, aber auch die Involvierung der Harnorgane in das Geschehen maligner Tumore. Die Studie konnte belegen, dass sowohl die Niedrigdosis-CTU als auch die CTU in Normaldosistechnik sehr sensitive und spezifische Verfahren zur Abklärung einer Dilatation oder Kompression der oberen ableitenden Harnwege darstellen. Bezüglich dieser Beurteilungskriterien stellt die Niedrigdosis-CTU ein der Normaldosis-CTU ebenbürtiges Verfahren dar. In der klinischen Routine eignet sich die Niedrigdosis-CTU beispielsweise zur Abklärung einer möglichen Involvierung des Harnleiters im Rahmen urogenitaler oder kolorektaler Tumore.

Bezüglich der Identifizierung primärer maligner epithelialer Läsionen hat die CTU sich bereits in mehreren Studien als hoch sensitiv erwiesen (55,60). Die beiden im Patientengut dieser Arbeit vorliegenden Fälle von Urothelkarzinomen betrafen die Harnleiter nur indirekt, konnten jedoch zuverlässig erkannt werden (in einem Fall war das Karzinom in der Harnblase lokalisiert, in dem anderen Fall in einem großen, ostiumnahen Divertikel). In Normaldosistechnik konnten alle Fälle von benignen intraluminalen Läsionen nachgewiesen werden, allerdings lassen die kleinen Fallzahlen diesbezüglich keine definitiven Aussagen zu.

5.1 Literaturvergleich: Alternative Protokolle der CT-Urographie

In der Literatur besteht Einigkeit darüber, dass eine umfassende röntgenologische Untersuchung der oberen ableitenden Harnwege eine native und kontrastmittelverstärkte Phase sowie Ausscheidungsaufnahmen erfordert. Allerdings existiert derzeit noch kein einheitliches Procedere in der Durchführung einer CTU. Teils wird die CT-Urographie ausschließlich am Computertomographen durchgeführt, teils kommen Kombinationen von konventioneller Ausscheidungsurographie und Computertomographie zur Anwendung (38).

CT-Urographie ausschließlich am CT- Gerät

Obwohl sich die Protokolle in manchen Punkten unterscheiden, beruhen alle Ansätze der CT-Urographie doch auf dem gleichen Prinzip: wesentlicher Bestandteil des Protokolls ist die Aufzeichnung einer Serie dünn-schichtiger, axialer Aufnahmen (2,5 mm oder weniger) von Nieren, Ureteren und Harnblase nach Beginn der Kontrastmittelausscheidung. Diese Aufnahmen dienen der detaillierten Analyse des Harntrakts und ersetzen projektionsradiographische Abbildungen.

Die an verschiedenen Instituten angewendeten Verfahren unterscheiden sich hinsichtlich der Anzahl der CT- Serien und des Timings. Die meisten Autoren gehen nach dem auch dieser Studie zugrunde liegenden Procedere vor (51,55). Dabei werden als erstes native Aufnahmen von den Oberpolen der Nieren bis zur Symphyse mit einer Schichtdicke von 3 bis 5 mm angefertigt. Die Nativphase dient dem Konkrementnachweis sowie der Charakterisierung von Raumforderungen der Nieren. Anschließend wird Kontrastmittel (100 bis 150 ml, 300 mg I/ml, nichtionisch) verabreicht und nach einem Delay von 80- 100 Sekunden die nephrographische Kontrastmittelpase aufgezeichnet (Schichtdicke 2,5 bis 5 mm), die dem Nachweis und der Charakterisierung renaler Raumforderungen dient. Die nephrographische Phase kann, wenn es die Fragestellung erfordert, auf die gesamten Oberbauchorgane ausgeweitet werden. Zuletzt, nach einer Wartezeit von etwa 5 bis 15 Minuten, erfolgt die Aufnahme der Ausscheidungsphase, welche Nieren, Harnleiter und Harnblase umfasst.

Von diesem dreiphasischen Protokoll abweichend, existiert eine Anzahl von Variationen. Caoili et al (4) zum Beispiel untersuchten mit 2 Ausscheidungsphasen (nach 5 sowie 7,5 Minuten, insgesamt 4 Phasen), unter der Erwartung einer größeren Wahrscheinlichkeit, dass alle Harnleitersegmente zumindest einmal kontrastmittelgefüllt zur Darstellung kämen. Chow und Sommer (8) verabreichten das Kontrastmittel auf zwei Portionen verteilt: nach dem nativ- Scan wurde ein 40 ml Bolus Kontrastmittel injiziert und nach einer Wartezeit von zwei Minuten ein weiterer Bolus von 80 ml. Wiederum 90 Sekunden später wurde die nephrographische Phase aufgezeichnet. Vorteil dieser Methode ist, dass durch den vorab- Bolus in der nephrographischen Phase zugleich auch die

Harnwege kontrastiert sind. Der Nachteil besteht darin, dass zur Kontrastierung sowohl des Parenchyms als auch der Hohlorgane jeweils nur relativ geringe Mengen Kontrastmittel zur Verfügung stehen (60).

Kombinierte CT-Urographie und projektionsradiographische Ausscheidungsurographie

Diese Vorgehensweise zielt darauf ab, die Vorteile einer axialen Bildgebung mit dem hohen Auflösungsvermögen der Projektionsradiographie zu kombinieren. Ein derartiges Konzept entwickelten Perlman et al. (62) 1996 und schufen damit den Begriff der CT-Urographie. Nach Durchführung einer konventionellen Ausscheidungsurographie wurde der Patient am CT ohne zusätzliche Kontrastmittel- Infusion untersucht. Die Aufnahmen waren auf die Nieren und eventuell im Ausscheidungsurogramm identifizierte Läsionen begrenzt. Mit dieser Technik konnten Raumforderungen der Nieren gut untersucht werden, die Vorteile der nativ- CT in der Entdeckung von Harnsteinen jedoch blieben ungenutzt (38). In anderen Ansätzen wurde zuerst eine konventionelle Nativaufnahme des Abdomens und Beckens angefertigt, anschließend wurden am CT native und kontrastmittelverstärkte Scans erstellt, und zum Schluss wurde der Patient wieder zur konventionellen Röntgenanlage gebracht um dort die Urographie zu komplettieren. Die nötigen Patiententransfers zwischen den Untersuchungsräumen erfordert nicht nur Zeit und eine sehr gute Koordination, sondern können auch die Kontrastmittelfüllung der Harnwege negativ beeinflussen (38). Eine mit hohem baulichem und finanziellem Aufwand verbundene Alternative könnte die zusätzliche Installation einer Röntgenröhre an der Decke über dem CT- Tisch darstellen (Vrtiska et al (38)). Des Weiteren besteht aber auch die Möglichkeit, direkt mit dem CT- Gerät projektionsradiographische Aufnahmen aufzuzeichnen: Die Planungsaufnahme (Topogramm, Scout) vor der eigentlichen CT- Untersuchung wird nämlich mit arretierter Röhre und feststehendem Detektor erfasst. Die Ortsauflösung derartiger Aufnahmen ist gegenüber der konventionellen Radiographie geringer, die Kontrastauflösung allerdings ist vergleichbar (49).

5.2 Literaturvergleich: Strategien zur Verbesserung der Harntraktfüllung- und kontrastierung

Ein Problem der Urographie, das sich auch in dieser Arbeit in der Frage nach der Beurteilbarkeit der einzelnen Harnleitersegmente widerspiegelt, ist die Gewährleistung einer guten Füllung und Kontrastierung der Harnleiter mit kontrastmittelvermischem Urin. Insbesondere subtile epitheliale Läsionen können der Diagnostik entgehen, wenn keine ausreichende Kontrastierung oder Füllung der Harnwege vorliegt. Dabei gestaltet sich, vom Nierenbecken zur Harnblase hin zunehmend, vor allem die Darstellung der distalen Harnleitersegmente als problematisch. In unserer Studie waren je nach Protokoll 75 bis 80 % der distalen Harnleiter ausreichend dargestellt und beurteilbar. Diese Zahl bewegt sich im Rahmen anderer, in der Literatur veröffentlichter Daten. Caoili et al (5) beispielsweise erhielten etwa ein Viertel bis ein Drittel nicht ausreichend dargestellter distaler Ureteren.

Um eine Verbesserung der Harnwegsfüllung- und Kontrastierung zu erreichen wurden verschiedene Anstrengungen unternommen:

Hydrierung mit physiologischer Kochsalzlösung

McTavish et al (51,60) verabreichten 250 ml einer Kochsalzlösung unmittelbar nach der Kontrastmittelinjektion und kamen zu dem Ergebnis, dass die distalen Harnleitersegmente sich signifikant besser kontrastmittelgefüllt darstellten als in der Vergleichsgruppe. Inampudi et al (33), die in einer ähnlichen Studie ebenfalls 250 ml Kochsalzlösung verabreichten (im Gegensatz zu McTavish et al jedoch unmittelbar vor KM- Injektion), fanden dagegen nur eine geringe Verbesserung der Kontrastmittelfüllung und Harnwegsdistension. Lediglich das Nierenbeckenkelchsystem und die oberen Harnleiter waren in der Kochsalz- Gruppe besser kontrastmittelgefüllt als in der Vergleichsgruppe ohne NaCl- Infusion (60).

Die Patienten, die im Rahmen der vorgelegten Arbeit mit dem Normaldosisprotokoll untersucht wurden, waren im Anschluss an die Kontrastmittelgabe zum Teil mit 250 ml Kochsalzinfusion hydriert worden. Der Vergleich der Ausscheidungsaufnahmen mit und ohne zusätzlich Hydrierung konnte für keines der Harnwegssegmente einen signifikanten Benefit durch die Kochsalzinfusion nachweisen.

Das Timing der CT-Urographie

Es bestehen derzeit keine abschließenden Empfehlungen, in welchem Zeitraum nach Kontrastmittelgabe die Ausscheidungsaufnahmen angefertigt werden sollen, um eine optimale Darstellung der Harnleiter zu gewährleisten. Mit dieser Problematik haben sich Caoili et al. (5) ausführlich beschäftigt. Sie untersuchten Patienten mit Ausscheidungsaufnahmen zu zwei verschiedenen Zeitpunkten nach Kontrastmittelgabe: die erste Ausscheidungsphase wurde nach 5 Minuten angefertigt, die zweite nach 7,5 Minuten. Der Vergleich der beiden Ausscheidungsaufnahmen hinsichtlich Kontrastierung und Füllung von Nierenbeckenkelchsystemen und Harnleitern erbrachte das Ergebnis, dass die Zahl kontrastierter Harnleiter in der späteren Ausscheidungsphase höher und darüber hinaus auch die Füllung von Nierenbeckenkelchsystem und proximalem Harnleiter besser war. Daraufhin gingen Caoili et al. dazu über, die Ausscheidungsaufnahmen zu einem noch späteren Zeitpunkt, nämlich nach 12 Minuten anzufertigen (60). Diesbezüglich sind aktuell noch keine Ergebnisse veröffentlicht.

Die in der vorgelegten Studie verwendeten Delay- Zeiten lagen für die Normaldosis- CTU bei durchschnittlich 11 Minuten, für die Niedrigdosisgruppe bei 19 Minuten. Der Vergleich zwischen den Aufnahmen, welche zwischen 5 und 10 Minuten nach Kontrastmittelgabe angefertigt wurden, und denen, welche in der Zeitspanne von 11 bis 20 Minuten nach Kontrastmittelgabe angefertigt wurden, ergab weder für die Normaldosis- noch für die Niedrigdosis- CTU eine signifikante Veränderung des Anteils beurteilbarer Segmente. Darüber hinaus brachte auch eine Delay- Zeit zwischen 21 und 30 Minuten keine wesentliche Veränderung. Es erscheint sinnvoll, die Ausscheidungsaufnahmen in einem Zeitraum von 5 bis 10 Minuten nach KM- Gabe anzufertigen, um die Untersuchungszeit möglichst kurz zu halten. Sollte andererseits aus logistischen Gründen die Ausscheidungsphase erst zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden können, so ist dies auch in einem Zeitraum von 21 bis 30 Minuten noch ohne wesentliche Einbußen in der Abbildungsqualität möglich.

Abdominelle Kompression

Studien, die sich mit dem Nutzen einer abdominalen Kompression befassten, kamen zu teils widersprüchlichen Ergebnissen. Chow und Sommer (8) fertigten die Ausscheidungsaufnahmen in zwei Teilen an: Zunächst wurden die ableitenden Harnwege unter abdominaler Kompression bis zum Beckenkamm erfasst, anschließend, nach Aufhebung der Kompression, wurde der Scan bis zur Symphyse fortgesetzt. Mc Nicholas et al. (50) dagegen erstellten die kompletten

Ausscheidungsaufnahmen in einer Serie nach Aufhebung der Kompression. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die distalen und mittleren Ureteren dadurch signifikant besser kontrastiert zur Darstellung kamen als ganz ohne Kompression. Inampudi et al. untersuchten während und nach abdomineller Kompression und stellten fest, dass die Nierenbecken und proximalen Ureteren unter Kompression signifikant besser gefüllt waren als nach Aufheben der Kompression. Im Vergleich zu einer weiteren Gruppe von Patienten, die komplett ohne Kompression untersucht wurden, fand sich jedoch kein signifikanter Unterschied zur Gruppe der unter Kompression untersuchten Patienten hinsichtlich der Füllung der Hohlorgane. Ob die geringen Verbesserungen der Harnleiterfüllung- und kontrastierung, die durch abdominelle Kompression in diesen Studien erreicht wurden auch in der Praxis relevant sind, bleibt abzuwarten (33,60).

Gabe von Furosemid

Nolte- Ernsting et al. (59) verabreichten insgesamt 16 Patienten 3 bis 5 Minuten vor Kontrastmittelgabe Furosemid (10 mg) intravenös. Innerhalb eines Zeitraums von 10 Minuten nach Kontrastmittelgabe wurde die CT-Urographie aufgezeichnet. Sie fanden dabei eine komplette oder beinahe komplette Füllung von allen 32 Nierenbeckenkelchsystemen sowie von 30 der 32 Ureteren. Jedoch müssen vor einer Verabreichung von Furosemid mögliche Medikamentennebenwirkungen und Kontraindikationen beachtet werden. In einer weiteren Untersuchung (Kemper et al. (2005) (39)) wurden 8 gesunde Schweine je mit 3 verschiedenen CTU- Protokollen untersucht: einmal mit Kochsalzinfusion, einmal mit Kochsalzinfusion und Furosemid (0,1 mg/kg) und ein weiteres mal mit Furosemid alleine. Die Autoren fanden heraus, dass die Gabe von Furosemid (mit oder ohne zusätzliche NaCl- Gabe) zu einer signifikanten Verbesserung der Harnwegsfüllung und -kontrastierung gegenüber der alleinigen Verabreichung von Kochsalzlösung führe.

5.3 Limitationen der CT-Urographie

5.3.1 Strahlenexposition durch die CT-Urographie

Die CT-Urographie kann, insbesondere wenn mehrphasische Untersuchungen durchgeführt werden, zu einer erheblichen Strahlenexposition des Patienten führen. Dieser Gesichtspunkt darf bei der Entwicklung einer angemessenen CTU- Technik nicht vernachlässigt werden. Einige Autoren haben sich bereits mit dieser Frage beschäftigt. Die Dosiswerte der CTU findet man in der Literatur häufig in Relation zur konventionellen Ausscheidungsurographie gesetzt. Diese Darstellungen müssen jedoch mit Vorsicht betrachtet werden, da sowohl die CT-Urographie als auch das Ausscheidungsurogramm je nach zugrunde gelegtem Protokoll erheblichen Variationen bezüglich der applizierten Dosis obliegen. Die Effektivdosis eines konventionellen Ausscheidungsurogrammes wird mit Werten angegeben, die zwischen 1,33 mSv (Liu et al (47)) und etwa 10 mSv (Caoili et al, Nawfel et al (4,57)) streuen. Hierbei ist entscheidend, ob im Rahmen der Ausscheidungsurographie ein Nephrotomogramm durchgeführt wurde, oder nicht. Für die CT-Urographie erhielten Caoili et al (4) effektive Dosen zwischen 25 und 35 mSv für einen Menschen durchschnittlicher Größe, ohne Geschlechtsunterscheidung. Dabei wurde ein 4- phasisches Protokoll mit 2 Ausscheidungsphasen sowie je einer nativen und nephrographischen Phase zugrunde gelegt. Das von Nawfel et al (57) angewandte 3- phasische Protokoll (native Phase: Abdomen und Becken, Nephrographische Phase: nur Nieren, Ausscheidungsphase Abdomen und Becken) führte zu einer Effektivdosis von 14,8 +/- 3,1 mSv.

Autor	Eff. Dosis m	Eff. Dosis w	Gerätetechnische Parameter
Native Niedrigdosis- Spiral- CT des Harntrakts			
Knöpfle et al (40)	0,97 mSv	1,35 mSv	120 kV; 70 mA; Kollimation 5 mm; pitch= 2; t= 0,75 s
Tack et al (84)	1,2 mSv	1.9 mSv	120 kV; 30 mAs (effektiv); Kollimation 4x2,5 mm; pitch= 1,5; t=0,5 s
Hamm et al. (27)	0,98 mSv	1,5 mSv	120 kV; 70 mA; Kollimation 5 mm; pitch= 2
Liu et al (47)	2,76 bis 2,82 mSv		120 kV; 280 mA; Kollimation 7 mm; pitch= 2
Native Normaldosis- Spiral- CT des Harntrakts			
Mendelson et al. (53)	3,55 mSv	5,00 mSv	120kV; 240 mA; Kollimation 5 mm; pitch= 2; t= 0,8 s
Ruppert- Kohlmayr (72)	4,3 mSv		140 kV; 189 mA; Kollimation 5 mm; pitch= 1,5
Hamm et al	3,1	4,3	140 kV; 129 mA; Kollimation 5 mm; pitch= 2
Denton et al (13)	4,7		120 kV; 250 mA; Kollimation 5 mm; pitch= 2
Konventionelles Ausscheidungsurogramm			
Denton et al(13)	1,5 mSv		65 kV; 50 mA; 3 Filme
Liu et al(47)	1,33		70 kV; 64 mA; 1 p. a., 4 a. p. Aufnahmen
Ruppert Kohlmayr et al	2,1 mSv		73 kV; 20 mA; ohne nähere Angaben
Nawfel et al (57)	9,7 +/- 3,0 mSv		65- 70 kV; Belichtungsautomatik; Nephrotomogramm mit 80- 200 mAs; durchschnittlich 11,6 Aufnahmen/ Patient
Caoili et al (4)	5 bis 10 mSv		4 a. p. (14 x 17), 2- 4 a. p. (14x11), Nephrotomogramm 4- 6 Aufnahmen (70kVp 64 mAs)
Spiral- CT-Urographie			
Caoili et al (4)	25 bis 35 mSv		Nativ- Scan: Koll.: 4 x 3,75 mm; TF 11,25 mm; 150 bis 240 mA Nephrographische Phase: Koll.: 4 x 2,5 mm; TF 7,5 mm; 100 bis 280 mA; Diaphragma bis incl. Nieren Ausscheidung mit Kompression: Koll.: 4x1,25 mm; TF 7,5 mm Ausscheidung Ohne Kompression: Koll.: 4x1,25 mm; TF 7,5 mm
Nawfel (57)	14,8 +/- 3,1 mSv		3 Phasen, ohne nähere Angaben

Tabelle 5-1 Angaben in der Literatur zu den effektiven Dosen verschiedener urologischer Untersuchungen. (Nach Hamm (27), modifiziert.)

In Relation zu verschiedenen Ausscheidungsurogrammen kann die effektive Dosis eines durchschnittlichen 3-phasischen CT-Urogramms, wie Nawfel es verwendete also etwa vom 1,5-fachen bis zum 11-fachen reichen. Dabei wird deutlich, dass die Entscheidung zur Durchführung einer CT-Urographie dahingehend einer gewissenhaften Abwägung bedarf, ob der Zugewinn an Information eine vermehrte Strahlenexposition mit den damit verbundenen Risiken rechtfertigt. Ferner ist in die Überlegung miteinzubeziehen, dass ein Patient, bei dem eine bedrohliche Erkrankung der ableitenden Harnwege vermutet wird, nicht nur mit dem minimalen Protokoll der konventionellen Ausscheidungsurographie, sondern eher ausführlich und mit entsprechend höherer Dosis untersucht werden wird. Sehr wahrscheinlich wird er später zusätzlich zum Ausscheidungsurogramm eine Standard-CT in zumindest einer Kontrastmittel-Phase erhalten. Unter diesem Gesichtspunkt betrachtet, erscheint die Strahlenexposition durch die CT-Urographie, welche beide Untersuchungen vereint und weniger Folgeuntersuchungen nach sich zieht, weit weniger prominent.

Nichtsdestoweniger müssen Bemühung dahingehend angestellt werden, CTU-Protokolle mit größtmöglicher Dosisreduktion zu entwickeln. Hierzu bieten sich zwei Möglichkeiten: die eine ist, die Anzahl der CT-Phasen zu minimieren, die andere, Niedrigdosisprotokolle zu anzuwenden. Etabliert ist der Gebrauch von Niedrigdosisprotokollen bereits in der Nativ-CT zur Abklärung einer Urolithiasis (27,40,84). Bei analogen Kontrastverhältnissen zwischen Harnstein- bzw. Kontrastmittel-gefülltem Ureter und den umgebenden Weichteilen, erscheint zumindest für gewisse Fragestellungen die Durchführung einer Niedrigdosis-CTU als Alternative.

5.3.2 Strahlenexposition im Rahmen dieser Arbeit

Die Berechnung der zur Aufzeichnung der Ausscheidungsphasen applizierten effektiven Dosis ergab, dass im Rahmen dieser Arbeit hierfür in Normaldosistechnik im Schnitt 7,8 mSv für Männer bzw. 11,5 mSv für Frauen angefallen waren. Die für die Ausscheidungsaufnahmen in Niedrigdosistechnik benötigte Dosis betrug dagegen nur etwa ein Siebtel bis ein Achtel: für Männer durchschnittlich 1,0 mSv, für Frauen 1,6 mSv. Die Effektivdosis des hier verwendeten Niedrigdosis-Protokolls lag damit im Bereich der Dosis anderer Niedrigdosisprotokolle, wie sie zur Evaluation des Harnsteinleidens verwendet wurden (siehe Tabelle 5.1).

Die effektive Dosis einer kompletten Untersuchung mit nativer Phase, kontrastmittelverstärkter Phase und Ausscheidungsphase lag in Normaldosistechnik durchschnittlich bei 19,3 mSv für Männer beziehungsweise 26,5 mSv für Frauen. Die Patienten, die eine Niedrigdosis-CTU erhielten,

kamen auf durchschnittliche effektive Dosen von 12,5 mSv (Männer) oder 16,6 mSv (Frauen). Die errechneten Dosiswerte der Gesamtuntersuchung liegen sowohl im Verhältnis zu anderen in der Literatur veröffentlichten Ergebnissen für die Niedrigdosis- CTU als auch für die Normaldosis-CTU am unteren Ende der Skala. Direkte Vergleiche sind allerdings schwierig anzustellen und unter der Einschränkung zu betrachten, dass die CT-Urographien an verschiedenen Institutionen sich hinsichtlich gerätetechnischer Parameter sowie der Scananzahl- und länge unterscheiden.

Wenn nicht, wie es allerdings bei den meisten Patienten der Studie der Fall war, der gesamte Abdomen- und Beckenraum untersucht werden soll, sondern die Fragestellung sich allein auf die Untersuchung der Nieren und ableitenden Harnwege beschränkt, so kann das in dieser Arbeit vorgestellte Protokoll unter Gesichtspunkten der Dosisreduktion noch weiter überarbeitet werden: der Nativscan wäre vom Oberpol der Nieren bis zur Symphyse ausreichend. Auch der portalvenöse bzw. nephrographische Scan müsste sich nicht über das ganze Abdomen und Becken erstrecken, sondern könnte auf die Nieren eingegrenzt werden. Für einen nephrographischen Scan von 15 cm Länge beträgt die rechnerisch ermittelte effektive Dosis 4,6 mSv für Männer und 4,8 mSv für Frauen. Zusammen mit der nativen Phase und der Ausscheidungsphase in Niedrigdosistechnik würde sich für eine derartige Untersuchung eine effektive Dosis von 6,9 mSv für Männer und 8,2 mSv und für Frauen errechnen. Somit ließe sich gegenüber unserem Niedrigdosisprotokoll noch eine Dosisreduktion um ca. 50% realisieren. Diese Technik wäre geeignet zur Evaluation des Nierenparenchyms, zur Beurteilung von Harnleiterverlauf- und Weite sowie zur Abklärung einer Harnwegskompression. Sollte der Verdacht auf eine intraluminale Harnwegsläsion bestehen, so wäre die Anfertigung urographischer Aufnahmen in Normaldosis- Technik ratsam, wobei sich für diesen Fall eine effektive Gesamtdosis der dreiphasischen Untersuchung von 13,7 mSv für Männer und 18,1 mSv für Frauen errechnet.

5.3.3 Nephrotoxizität des Kontrastmittels

Eine bedeutsame Limitation der CTU wie auch des konventionellen Ausscheidungsurogramms ist das mögliche Risiko eines Kontrastmittel- induzierten Nierenversagens bei Patienten mit beeinträchtigter Nierenfunktion. Die Bestimmung des Kreatininspiegels hilft, diese Patienten zu identifizieren und eine prophylaktische Therapie einzuleiten. Zusätzlich bietet die MR- Urographie die Möglichkeit, auch Patienten mit eingeschränkter Nierenfunktion oder Kontrastmittelunverträglichkeit relativ problemlos zu untersuchen (58).

5.3.4 Das Problem unzureichender Harntraktfüllung- und kontrastierung

Eine optimale Harnwegsdarstellung erfordert eine möglichst langstreckige Füllung mit kontrastmittelvermischem Urin einerseits und eine gute Distension des Lumens andererseits. Allein die physiologische Harnwegsperistaltik kann diesbezüglich schon Schwierigkeiten bereiten. Erschwerend kommt hinzu, dass die Anfertigung zusätzlicher Aufnahmen in der CT-Urographie (mehr noch als im konventionellen Ausscheidungsurogramm) einer kritischen Abwägung unter Aspekten des Strahlenschutzes bedarf. Entscheidend ist die Akquisition der Ausscheidungsaufnahmen zum richtigen Zeitpunkt nach Kontrastmittelgabe, gegebenenfalls unter Zuhilfenahme zusätzlicher Manöver wie z. B. der Verabreichung einer Kochsalzinfusion oder von Furosemid (s. Kap. 5.2).

5.4 Limitationen der Studie

5.4.1 Geringe Fallzahl des Kriteriums „innere Obstruktion“

Läsionen im Sinne einer „inneren Obstruktion“ kamen im untersuchten Patientengut nur in sehr geringer Anzahl vor. Dabei handelte es sich ausschließlich um Läsionen benignen Art. Mit der Normaldosis-CTU untersuchte Läsionen (5 Segmente verteilt auf 3 Patienten) konnten vollständig identifiziert werden. Die Referenz der Niedrigdosisgruppe umfasste lediglich ein einziges Harnwegssegment mit einer inneren Obstruktion; diese wurde von einem der beiden Betrachter erkannt. Dieser eine Fall lässt gewiss keine endgültige Aussage zu, jedoch scheint die Niedrigdosis-CTU in der Frage nach subtilen urothelialen Veränderungen aufgrund der reduzierten Bildqualität zu wenig sensitiv zu sein. Zur radiologischen Abklärung uroepithelialer Raumforderungen kann die Niedrigdosis-CTU nicht empfohlen werden. Diesbezüglich stellt die CTU in Normaldosistechnik ein vielversprechendes Verfahren dar, wenngleich derzeit noch unklar ist, welchen Stellenwert die CT-Urographie in der Abklärung uroepithelialer Raumforderungen relativ zur Ausscheidungsurographie einnimmt (4,70). Fest steht jedoch, dass das konventionelle Ausscheidungsurogramm in der Abklärung urothelialer Läsionen verhältnismäßig unbefriedigende Ergebnisse liefert. Es zeigt nur in 50 bis 75% der Fälle Füllungsdefekte oder eine Funktionseinschränkung durch Tumorobstruktion. Die Treffsicherheit des retrograden Ureteropyelogramms wird mit immerhin 75 bis 80% angegeben. Nachteil ist die Invasivität des Verfahrens, das dafür aber die Möglichkeit der Materialgewinnung zur zytologischen Diagnostik bietet (68,76). In einer Studie von McCarthy und Cowan (60) wurden 106 Hochrisikopatienten hinsichtlich Malignomen der oberen Harnwege CT-urographisch und mittels retrograder Ureteropyelographie untersucht. Von den 38 nachgewiesenen Fällen von Übergangszellenkarzinomen konnten in der retrograden Ureteropyelographie 36 nachgewiesen werden, die CT-Urographie dagegen konnte sogar alle Fälle korrekt identifizieren.

5.4.2 Validierung der Befunde

Weil das Patientengut unserer Studie keinem standardisierten klinischen follow up unterzogen wurde und nur für 44 der 92 Patienten Akteneinsicht bestand, müssen die richtig oder falsch negativen bzw. richtig oder falsch positiven Ergebnisse der Studie unter dieser Einschränkung gesehen werden. Von den insgesamt 101 in der Referenz als pathologisch ausgewiesenen Segmenten konnten die Befunde der portalvenösen/ nephrographischen CT in 46 Fällen (45,5%) durch die Auskünfte aus den Patientenakten zusätzlich bekräftigt werden. Die 46 pathologischen Harnleitersegmente waren auf 13 Patienten verteilt. Umgekehrt ergab für 22 Patienten ohne CT-morphologisch greifbare Pathologie der Harnwege auch die Akteneinsicht keinen Hinweis auf das Vorliegen einer Läsion. Bei 9 Patienten aus der Urologie lagen CT-morphologische Veränderungen

vor, die mit den Informationen aus den Patientenakten nicht weiter untermauert werden konnten. Dabei handelte es sich zumeist um Befunde die aus klinischer Sicht keiner weiteren Evaluation bedurften: Bei 5 Patienten waren die Nierenbeckenkelchsysteme (in einem Fall beidseits) durch blande Nierenzysten komprimiert, in einem Fall das Nierenbeckenkelchsystem erstgradig dilatiert.

5.4.3 Zusammenfassung der Gruppen Normaldosis- CTU mit Kochsalzinfusion und Normaldosis- CTU ohne Kochsalzinfusion

Aufgrund kleiner Gruppengrößen und geringer Fallzahlen wurde auf die Unterscheidung der beiden Normaldosis- CTU- Gruppen („mit NaCl“ (n=19 Pat.) und „ohne NaCl“ (n=23 Pat)) verzichtet. Dieser Schritt erscheint zulässig, da die NaCl- Infusion, die die Idee einer verbesserten Harnleiterfüllung und Abgrenzbarkeit verfolgt, in der vorgelegten Studie für keines der Segmente des oberen Harntrakts einen signifikanten Unterschied in der Beurteilbarkeit erbrachte. Auch in der Literatur wird der Nutzen einer Kochsalzinfusion kontrovers diskutiert.

5.4.4 Ungleiche Verteilung der dilatierten Segmente auf die Niedrigdosis- bzw. Normaldosis- CTU- Gruppe

Auffällig ist ferner, dass innerhalb der Normaldosisgruppe sich dilatierte OAH- Segmente zu einem signifikant höheren Anteil fanden als in der Gruppe der mit Niedrigdosis- CTU untersuchten Patienten. Betrachtet man isoliert die Anteile der Patienten, welche eine Dilatation aufwiesen, so stellt man fest, dass diesbezüglich kein signifikanter Unterschied ($p > 0,3$) zwischen der Normal- bzw. Niedrigdosisgruppe besteht. Die Diskrepanz zwischen den beiden Gruppen kommt also hauptsächlich dadurch zustande, dass in der Normaldosisgruppe die betroffenen Patienten ausgeprägtere Befunde mit einer höheren Anzahl dilatierter Segmente aufwiesen. Sofern eine Seite der OAH dilatiert war, waren daran in der Niedrigdosisgruppe durchschnittlich 1,5 Segmente und in der Normaldosis- Gruppe 2,9 Segmente beteiligt.

5.4.5 Längere Delay- Zeit der Niedrigdosis- CTU

Eine weitere Einschränkung der Studie ist darin zu sehen, dass die Zeit zwischen KM- Applikation und Aufzeichnung der Ausscheidungsaufnahmen (Delay- Zeit) für die Niedrigdosis- CTU und Normaldosis- CTU unterschied. Zum Zeitpunkt, als die Niedrigdosis- CTU eingeführt wurde, bestanden bereits über zehn Monate hinweg gesammelte Erfahrungen mit der Normaldosistechnik. Unter der Erwartung, dass eine längere Delay- Zeit verbesserte Abbildungseigenschaften der OAH mit sich bringen würde, wurde eine längere Wartezeit eingehalten. Im Mittel lag die Delay- Zeit für die Niedrigdosis- Gruppe bei 19 Minuten, für die Normaldosisgruppe bei 11 Minuten. Die Evaluation im Rahmen dieser Arbeit ergab, dass die längeren Delay- Zeiten innerhalb der Niedrigdosis- CTU keine Vor- oder Nachteile bezüglich des Anteils beurteilbarer Segmente erbrachten. Ein direkter Vergleich beider Gruppen erscheint daher legitim.

5.4.6 *Das Kriterium der Beurteilbarkeit*

Die Betrachtungen hinsichtlich des Kriteriums „Beurteilbarkeit“ erfahren die Einschränkung, dass dieser Begriff eher eine praktische Größe ist. Die Bezeichnung eines Segments als „nicht beurteilbar“ erfolgte subjektiv, jedoch bei guter bis sehr guter Konkordanz zwischen den Betrachtern (kappa- Wert für alle Segmente $>0,65$). Allerdings fehlen eindeutige Auskünfte über die Gründe einer mangelnden Beurteilbarkeit: Als „nicht beurteilbar“ wurden sowohl Segmente mit unzureichender Kontrastmittelfüllung ($<ca. 50\%$ der Strecke) als auch von der Umgebung nicht ausreichend abgrenzbare Segmente bezeichnet. Diesbezüglich sind weitere Studien nötig, in denen zwischen Kontrastmittel- Füllung und Abgrenzbarkeit der Hohlorgane zur Umgebung differenziert wird. Wie bereits erwähnt, werden derzeit verschiedene Anstrengungen unternommen, um eine optimale Harnleiterfüllung und Kontrastierung der Harnwege zu gewährleisten.

Im Rahmen dieser Studie wurden nur beurteilbare Segmente in die Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die einzelnen Kriterien miteinbezogen. In manchen Fällen kam es vor, dass Segmente als nicht beurteilbar gewertet wurden, die in der Referenz einen positiven Befund hatten, z.B. aufgrund mangelnder KM- Füllung. Wenn ein Segment als nicht beurteilbar gewertet wurde, so ist dies jedoch nicht gleichzusetzen damit, dass ein pathologischer Befund nicht erkennbar gewesen wäre.

5.4.7 *Genauigkeit der Dosisberechnungen*

Alle Dosisberechnungen im Rahmen dieser Arbeit wurden mit dem Rechenprogramm CT- EXPO V. 1.1 durchgeführt und geben, soweit nicht anders vermerkt Durchschnittswerte wieder. Mit CT- EXPO sind keine individuellen, auf den einzelnen Patienten abgestimmte Dosisberechnungen möglich. Die Dosisberechnungen können nur für Patienten gelten, die in ihren Abmessungen identisch sind zu den der Berechnung zugrunde gelegten „Standardpatienten“ (Phantome ADAM und EVA). Für die errechnete Effektivdosis, welche nur mittels Umrechnung bestimmbar ist, muss laut Herstellerangaben mit Unsicherheiten von ± 20 bis 30% gerechnet werden (82). Die in dieser Arbeit vorkommenden Dosisangaben können somit nur orientierenden Charakter haben.

6 Zusammenfassung

Seit ihrer Einführung hat die Computertomographie sich von einem einfachen Schnittbildverfahren zu einem dreidimensionalen diagnostischen Werkzeug entwickelt. Die Mehrzeilen- Spiral- CT hat sich in den letzten Jahren als Methode der Wahl zur Abklärung renaler Raumforderungen und der Urolithiasis etablieren können und damit klassische Aufgabengebiete des Ausscheidungsurogramms übernommen. Die letzte unangetastete Domäne der Ausscheidungsurographie war bis vor kurzem die (über die Urolithiasis hinausgehende) Evaluation der ableitenden Harnwege. Studien der jüngeren Zeit konnten jedoch mehrfach die hervorragende Sensitivität computertomographischer Untersuchungen der kontrastmittelgefüllten Harnwege bezüglich uroepithelialer Läsionen unter Beweis stellen (60). Die CT-Urographie vereint die diagnostischen Fähigkeiten der i.v.- Urographie mit denen der Computertomographie und könnte das konventionelle Ausscheidungsurogramm in Zukunft komplett ersetzen. Derzeit ist die CT-Urographie noch eine in Entwicklung begriffene Technik. Die größte Limitation der Methode liegt in der ihr inhärenten hohen Strahlenexposition, insbesondere wenn mehrphasische Untersuchungen durchgeführt werden.

Am Institut für klinische Radiologie der LMU werden seit Juli 2002 CT- Urographien zur Evaluation der Harnwege angefertigt. Zu Beginn wurden dazu dieselben gerätetechnischen Parameter verwendet, wie sie für Standarduntersuchungen des Abdomens und Beckens in Gebrauch sind. Nach einiger Zeit jedoch eröffnete sich die Möglichkeit einer Dosisreduktion: Studien konnten belegen, dass eine native Computertomographie zur Harnsteindiagnostik auch in Niedrigdosistechnik adäquate Ergebnisse liefern kann. Unabhängig davon, ob die oberen ableitenden Harnwege nun mit Steinen beladen oder mit Kontrastmittel gefüllt sind, bestehen vergleichbare Kontrastverhältnisse zum umgebenden, wenig dichten Weichgewebe. Als Konsequenz wurde unter der gegebenen Voraussetzung einer Hochkontrastumgebung zum Mai 2003 das Protokoll der CT-Urographie auf eine Niedrigdosistechnik umgestellt. Bis Januar 2004 lagen 50 CT-Urographien in Niedrigdosistechnik, sowie 42 Untersuchungen in Normaldosistechnik vor.

Retrospektiv wurden sowohl die Ausscheidungsaufnahmen in Normaldosis- wie auch die urographischen Aufnahmen in Niedrigdosistechnik hinsichtlich der Kriterien Dilatation, Kompression und innere Obstruktion geprüft. Darüber hinaus wurden die Auswirkungen einer Infusion von Kochsalzlösung sowie verschiedener Delay- Zeiten auf die Darstellung der ableitenden Harnwege untersucht. Dazu wurden die Aufnahmen zwei unabhängigen Betrachtern zur Befundung vorgelegt. Die ableitenden Harnwege wurden je Seite in vier Segmente unterteilt: Nierenbeckenkelchsystem, proximaler Harnleiter, mittlerer Harnleiter und distaler Harnleiter. Die Ergebnisse der urographischen Aufnahmen wurden an einem Referenzstandard gemessen, der neben multiphasischen CT- Aufnahmen zusätzlich die klinische Information der

Anforderungsscheine und Informationen aus Patientenakten miteinbezog.

Im Rahmen dieser Arbeit konnte anhand der Ausscheidungsaufnahmen der CT-Urographie ein breites Spektrum von Veränderungen der oberen Harnwege nachgewiesen werden. Die Studie ergab, dass Nierenbeckenkelchsysteme und Harnleiter sowohl mit Ausscheidungsaufnahmen sowohl in Normaldosis- wie auch Niedrigdosistechnik mit hoher Sensitivität und Spezifität untersucht werden können. Die Sensitivität bezüglich einer Dilatation der oberen ableitenden Harnwege lag für die Normaldosis- CTU bei 96,2% (Spezifität 99,4%), für die Niedrigdosis- CTU bei 92,3% (Spezifität 99,7%). Hinsichtlich einer Kompression der Harnwege betrug die Sensitivität der Normaldosis- CTU 96,4% (Spezifität 98,8%), diejenige der Niedrigdosis- CTU 91,9% (Spezifität 99,0%). Die geringfügig besseren Resultate der Normaldosis- CTU waren ohne statistische Relevanz. In der Frage nach einer Dilatation oder Kompression der oberen ableitenden Harnwege darf die Niedrigdosis- CTU als ein der Normaldosis- CTU ebenbürtiges Verfahren gelten. Eine klinische Anwendung der Niedrigdosis- CTU könnte beispielsweise in der Beurteilung einer möglichen Harnwegs- Involvierung im Rahmen urogenitaler Tumore bestehen.

Hinsichtlich der Eignung der CT-Urographie zur Abklärung intraluminaler Läsionen können im Rahmen dieser Arbeit nur deskriptive Aussagen getroffen werden, da sie im Patientengut in zu geringer Fallzahl und ausschließlich auf dem Boden benigner Läsionen vorkamen. Die Ergebnisse jedoch erscheinen vielversprechend: alle fünf Fälle von innerer Obstruktion ließen sich in der Normaldosis- CTU nachweisen. In Niedrigdosistechnik wurde nur ein einziger Fall von innerer Obstruktion untersucht, der keine definitive Aussage zulässt. Bezüglich der Abklärung subtiler epithelialer Läsionen ist jedoch vorläufig anzunehmen, dass die Niedrigdosis- CTU der Normaldosis- CTU aufgrund ihrer reduzierten Bildqualität unterlegen sein wird. Dosisberechnungen ergaben, dass die Anfertigung von Kontrastmittel- Ausscheidungsaufnahmen in Niedrigdosistechnik eine Reduktion der effektiven Dosis auf etwa ein Siebtel bis ein Achtel der Normaldosis zulässt. Die durchschnittliche effektive Dosis der Ausscheidungsphase von 7,8 mSv für Männer bzw. 11,5 mSv für Frauen konnte durch Einsatz der Niedrigdosistechnik auf 1,0 bzw. 1,6 mSv reduziert werden.

Die Mehrzeilen- Spiral CT besitzt das Potential, eine umfassende Untersuchung der Nieren und ableitenden Harnwege bieten zu können. Es muss jedoch bedacht werden, dass eine CT- Untersuchung für den Patienten schnell eine hohe Strahlenexposition bedeutet, insbesondere wenn Aufnahmen zu verschiedenen Kontrastmittelphasen angefertigt werden. Im Rahmen bestimmter Fragestellungen kann eine Dosiseinsparung durch Verwendung einer Niedrigdosistechnik bewirkt werden. Der Harnleiterverlauf, sowie das Vorliegen einer Kompression oder Dilatation kann in adäquater Weise in reduzierter Dosis beurteilt werden.

7 Anhang

Normaldosis CTU mit NaCl		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	Anzahl der Segmente	36	107	36	36	35	143
Dilatation		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	dilatierte Segmente	9	17	6	6	5	26
	Anteil dilaterter Seg.	25,0%	15,9%	16,7%	16,7%	14,3%	18,2%
Kompression		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	komprimierte Segmente	3	5	1	0	4	8
	Anteil komprimierter Seg.	8,3%	4,7%	2,8%	0,0%	11,4%	5,6%
Obstruktion innen		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	obstruierte Segmente	3	3	1	1	1	6
	Anteil obstruierter Seg.	8,3%	2,8%	2,8%	2,8%	2,9%	4,2%
Dilat., Komp., Obstr. innen		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	pathologische Segmente	15	25	8	7	10	40
	Anteil pathologischer Seg.	41,7%	23,4%	22,2%	19,4%	28,6%	28,0%

Tabelle 7-1 Normaldosis CTU mit NaCl- Infusion: Verteilung von Dilatation, Kompression und innerer Obstruktion im Patientengut. (NBKS: Nierenbeckenkelchsystem, HL: gesamt, PH: proximaler Harnleiter; MH: mittlerer Harnleiter, DH distaler Harnleiter; OAH obere ableitende Harnwege)

Normaldosis CTU ohne NaCl		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	Anzahl der Segmente	45	119	45	41	33	164
Dilatation		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	dilatierte Segmente	7	14	5	5	4	21
	Anteil dilaterter Seg.	15,6%	11,8%	11,1%	12,2%	12,1%	12,8%
Kompression		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	komprimierte Segmente	6	6	2	0	4	12
	Anteil komprimierter Seg.	13,3%	5,0%	4,4%	0,0%	12,1%	7,3%
Obstruktion innen		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	obstruierte Segmente	0	1	0	0	1	1
	Anteil obstruierter Seg.	0,0%	0,8%	0,0%	0,0%	3,0%	0,6%
Dilat., Komp., Obstr. innen		NBKS	HL	PH	MH	DH	OAH
	pathologische Segmente	13	21	7	5	9	34
	Anteil pathologischer Seg.	28,9%	17,6%	15,6%	12,2%	27,3%	20,7%

Tabelle 7-2 Normaldosis CTU ohne NaCl- Infusion: Verteilung von Dilatation, Kompression und innerer Obstruktion im Patientengut. (NBKS: Nierenbeckenkelchsystem, HL: gesamt, PH: proximaler Harnleiter; MH: mittlerer Harnleiter, DH distaler Harnleiter; OAH obere ableitende Harnwege)

Protokoll	Anzahl der Pat.	Zeitraum nach KM
Niedrigdosis mit NaCl	11	5 bis 10 min
	21	11 bis 20 min
	9	21 bis 30 min
	9	>= 31 min
Normaldosis mit NaCl	6	5 bis 10 min
	11	11 bis 20 min
	2	21 bis 30 min
	0	>= 31 min
Normaldosis ohne NaCl	20	5 bis 10 min
	2	11 bis 20 min
	0	21 bis 30 min
	1	>= 31 min

Tabelle 7-3 Verteilung der Patienten nach dem Zeitpunkt der Untersuchung nach Kontrastmittelgabe

8 Literaturverzeichnis

1. **AMIS, E.S., JR.** 1999. EPITAPH FOR THE UROGRAM. *RADIOLOGY* 213:639-640.
2. **APAYDIN, F.D., C. OZER, M.N. DUCE, A. YILDIZ, H.E. DORUK, H. EGILMEZ AND E. KARA.** 2003. COMPARISON OF RELIABILITIES OF THE DELAYED IMAGES OF HELICAL RENAL CT IN DETECTING SMALL RENAL MASSES. *CLIN IMAGING* 27:112-115.
3. **BRÄNDLE, E.** 2003. STEINERKRANKUNGEN-PATHOGENESE UND KONSERVATIVE THERAPIE, PP. 5-56. *IN* M.K. JOCHAM D. (ED.), *PRAXIS DER UROLOGIE IN ZWEI BÄNDEN*. GEORG THIEME VERLAG, STUTTGART; NEW YORK.
4. **CAOILI, E.M., R.H. COHAN, M. KOROBKIN, J.F. PLATT, I.R. FRANCIS, G.J. FAERBER, J.E. MONTIE AND J.H. ELLIS.** 2002. URINARY TRACT ABNORMALITIES: INITIAL EXPERIENCE WITH MULTI-DETECTOR ROW CT UROGRAPHY. *RADIOLOGY* 222:353-360.
5. **CAOILI, E.M., P. INAMPUDI, R.H. COHAN AND J.H. ELLIS.** 2005. OPTIMIZATION OF MULTI- DETECTOR ROW CT UROGRAPHY: EFFECT OF COMPRESSION, SALIN ADMINISTRATION AND PROLONGATION OF ACQUISITION DELAY. *RADIOLOGY*:116-123.
6. **CATALANO, O., A. NUNZIATA, F. ALTEI AND A. SIANI.** 2002. SUSPECTED URETERAL COLIC: PRIMARY HELICAL CT VERSUS SELECTIVE HELICAL CT AFTER UNENHANCED RADIOGRAPHY AND SONOGRAPHY. *AJR AM J ROENTGENOL* 178:379-387.

7. **CHEN, M.Y. AND R.J. ZAGORIA.** 1999. CAN NONCONTRAST HELICAL COMPUTED TOMOGRAPHY REPLACE INTRAVENOUS UROGRAPHY FOR EVALUATION OF PATIENTS WITH ACUTE URINARY TRACT COLIC? *J EMERG MED* 17:299-303.

8. **CHOW, L.C. AND F.G. SOMMER.** 2001. MULTIDETECTOR CT UROGRAPHY WITH ABDOMINAL COMPRESSION AND THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION. *AJR AM J ROENTGENOL* 177:849-855.

9. **COHNEN, M., G. JUNG, B. FRITZ, A. SALEH, G. FÜRST AND U. MÖDDER.** 2002. MODERNE BILDGEBENDE VERFAHREN: MR- UROGRAPHIE. *UROLOGE* 41:542- 547.

10. **DALRYMPLE, N., M. VERGA, K.R. ANDERSON, P. BOVE, A.M. COVEY, A.T. ROSENFELD AND R.C. SMITH.** 1998. THE VALUE OF UNENHANCED HELICAL COMPUTERIZED TOMOGRAPHY IN THE MANAGEMENT OF ACUTE FLANK PAIN. *THE JOURNAL OF UROLOGY* 159:735-740.

11. **DE DENARO, M., P. BREGANT, F. CUPARDO, F. DE GUARRINI, A. RIMONDINI AND R. POZZI MUCELLI.** 2001. EFFECTIVE DOSE IN X-RAY EXAMINATIONS: COMPARISON BETWEEN SPIRAL CT AND UROGRAPHY IN THE STUDY OF RENAL COLIC. *RADIOL MED (TORINO)* 102:256-261.

12. **DE PETRICONI, R.** 2003. UROLOGISCHE RÖNTGENDIAGNOSTIK, PP. 137- 155. *IN* M.K. JOCHAM D. (ED.), *PRAXIS DER UROLOGIE IN ZWEI BÄNDEN.* GEORG THIEME VERLAG, STUTTGART; NEW YORK.

13. **DENTON, E.R., A. MACKENZIE, T. GREENWELL, R. POPERT AND S.C. RANKIN.** 1999. UNENHANCED HELICAL CT FOR RENAL COLIC--IS THE RADIATION DOSE JUSTIFIABLE? *CLIN RADIOLOG* 54:444-447.

14. **DJAMALI- LEONHARD, R., W. LUMPER, B. FINK AND N. SCHMELLER.** 1997. ERSTE KLINISCHE ERFAHRUNGEN MIT DEM SPIRAL- CT UND 3D- REKONSTRUKTION NICHT ODER SCHWACH SCHATTENGEBENDER NIERENSTEINE. *UROLOGE* 37:377-380.

15. **DYER, R.B., M.Y. CHEN AND R.J. ZAGORIA.** 2001. INTRAVENOUS UROGRAPHY: TECHNIQUE AND INTERPRETATION. *RADIOGRAPHICS* 21:799-821; DISCUSSION 822-794.

16. **FIELDING, J.R., L.A. FOX, H. HELLER, S.E. SELTZER, C.M. TEMPANY, S.G. SILVERMAN AND G. STEELE.** 1997. SPIRAL CT IN THE EVALUATION OF FLANK PAIN: OVERALL ACCURACY AND FEATURE ANALYSIS. *J COMPUT ASSIST TOMOGR* 21:635-638.

17. **FIELDING, J.R., S.G. SILVERMAN, S. SAMUEL, K.H. ZOU AND K.R. LOUGHLIN.** 1998. UNENHANCED HELICAL CT OF URETERAL STONES: A REPLACEMENT FOR EXCRETORY UROGRAPHY IN PLANNING TREATMENT. *AJR AM J ROENTGENOL* 171:1051-1053.

18. **FLOHR, T., B. OHNESORGE, G. KOHL AND S. SCHALLER.** 2003. TECHNICAL PRINCIPLES AND APPLICATIONS OF MULTISLICE SPIRAL CT, PP. 1- 14. *IN* R. BRUENING, FLOHR, T. (ED.), *PROTOCOLS FOR MULTISLICE CT*. SPRINGER- VERLAG, BERLIN; HEIDELBERG; NEW YORK.

19. **FLOHR, T., K. STIERSDORFER, H. BRUDER, J. SIMON AND S. SCHALLER.** 2002. NEW TECHNICAL DEVELOPMENTS IN MULTISLICE CT. PART 1: APPROACHING ISOTROPIC RESOLUTION WITH SUB-MILLIMETER 16- SLICE SCANNING. *FORTSCHR RÖNTGENSTR* 174:839- 845.

20. **FOLEY, W.D.** 2003. RENAL MDCT. *EUR J RADIOLOG* 45:73-78.

21. **GALANSKI, M., H.D. NAGEL AND G. STAMM.** 2001. CT-EXPOSITIONSPRAXIS IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND- ERGEBNISSE EINER BUNDESWEITEN UMFRAGE IM JAHRE 1999. ROFO FORTSCHR GEB RONTGENSTR NEUEN BILDGEB VERFAHR *173*:R1- R66.

22. **GALANSKI, M. AND M. PROKOP.** 1998. GRUNDLAGEN, PP. 4-34. *IN* M. GALANSKI AND M. PROKOP (EDS.), GANZKÖRPER- COMPUTERTOMOGRAPHIE. GEORG THIEME VERLAG, STUTTGART; NEW YORK.

23. **GAUS, W.** 1999. DIAGNOSTIK UND EPIDEMIOLOGIE ALS METHODE, PP. 53- 65. *IN* A. BOB AND K. BOB (EDS.), ÖKOLOGISCHES STOFFGEBIET. HIPPOKRATES VERLAG IM GEORG THIEME VERLAG, STUTTGART.

24. **GOLDMAN, S.M. AND C.M. SANDLER.** 2000. GENITOURINARY IMAGING: THE PAST 40 YEARS. RADIOLOGY *215*:313-324.

25. **GOTTFRIED, H.W. AND B. VOLKMER.** 2003. ULTRASCHALL, PP. 72- 95. *IN* M.K. JOCHAM D. (ED.), PRAXIS DER UROLOGIE. GEORG THIEME VERLAG, STUTTGART; NEW YORK.

26. **GREENWELL, T.J., S. WOODHAMS, E.R. DENTON, A. MACKENZIE, S.C. RANKIN AND R. POPERT.** 2000. ONE YEAR'S CLINICAL EXPERIENCE WITH UNENHANCED SPIRAL COMPUTED TOMOGRAPHY FOR THE ASSESSMENT OF ACUTE LOIN PAIN SUGGESTIVE OF RENAL COLIC. BJU INT *85*:632-636.

27. **HAMM, M., E. KNOPFLE, S. WARTENBERG, F. WAWROSCHEK, D. WECKERMANN AND R. HARZMANN.** 2002. LOW DOSE UNENHANCED HELICAL COMPUTERIZED TOMOGRAPHY FOR THE EVALUATION OF ACUTE FLANK PAIN. J UROL *167*:1687-1691.

28. **HEIDENREICH, A., F. DESGRANDSCHAMPS AND F. TERRIER.** 2002. MODERN APPROACH OF DIAGNOSIS AND MANAGEMENT OF ACUTE FLANK PAIN: REVIEW OF ALL IMAGING MODALITIES. *EUR UROL* 41:351-362.

29. **HENEGHAN, J.P., D.H. KIM, R.A. LEDER, D. DELONG AND R.C. NELSON.** 2001. COMPRESSION CT UROGRAPHY: A COMPARISON WITH IVU IN THE OPACIFICATION OF THE COLLECTING SYSTEM AND URETERS. *J COMPUT ASSIST TOMOGR* 25:343-347.

30. **HILDEBRANDT, H.** 1994. PSCHYREMBEL KLINISCHES WÖRTERBUCH. DE GRUYTER, BERLIN; NEW YORK.

31. **HÖRL, W.H.** 1999. NEPHROLOGIE, PP. 591- 609. *IN* A. BOB AND K. BOB (EDS.), INNERE MEDIZIN. HIPPOKRATES VERLAG IM THIEME VERLAG, STUTTGART.

32. **HÜNERBEIN, R.** 2004. RADIOLOGISCHE VERFAHREN, PP. 67- 83. *IN* M. REISER, F.P. KUHN AND J. DEBUS (EDS.), RADIOLOGIE. THIEME VERLAG, STUTTGART.

33. **INAMPUDI, P., E.M. CAOILI, C. R.H., J.H. ELLIS, M. KOROBKIN, J.F. PLATT AND E. AL.** 2003. EFFECT OF COMPRESSION, SALINE ADMINISTRATION AND PROLONGING ACQUISITION DELAY ON IMAGES OBTAINED DURING MULTIDETECTOR CT UROGRAPHY (MDCTU). *AJR AM J ROENTGENOL* 180:71.

34. **JÄKEL, O. AND C. KARGER.** 2004. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN, PP. 2- 24. *IN* M. REISER, F.P. KUHN AND J. DEBUS (EDS.), RADIOLOGIE. THIEME VERLAG, STUTTGART.

35. **KALENDER, W.A.** 1999. BASICS AND TECHNIQUES OF SPIRAL CT. *RADIOLOGE* 39:809-819.

36. **KALRA, M.K., S. PRASAD, S. SAINI, M. BLAKE, J. VARGHESE, E.F. HALPERN, J.T. RHEA AND J.H. THRALL.** 2002. CLINICAL COMPARISON OF STANDARD- DOSE AND 50% REDUCED- DOSE ABDOMINAL CT: EFFECT ON IMAGE QUALITY. *AJR AM J ROENTGENOL* 179:1101-1106.

37. **KAMEL, I.R., R.J. HERNANDEZ, J.E. MARTIN, A.E. SCHLESINGER AND L.T. NIKLASON.** 1994. RADIATION DOSE REDUCTION IN CT OF THE PEDIATRIC PELVIS. *RADIOLOGY* 190:683-687.

38. **KAWASHIMA, A., T.J. VRTISKA, L. A.J., R.P. HARTMAN, C.H. MCCOLLOUGH AND B.F. KING.** 2004. CT UROGRAPHY. *RADIOGRAPHICS* 24:35- 54.

39. **KEMPER, J., M. REGIER, P.G.C. BEGEMANN, A. STORK, G. ADAM AND C. NOLTE-ERNSTING.** 2005. MULTISLICE COMPUTED TOMOGRAPHY- UROGRAPHY: INTRAINDIVIDUAL COMPARISON OF DIFFERENT PREPARATION TECHNIQUES FOR OPTIMIZED DEPICTION OF THE UPPER URINARY TRACT IN AN ANIMAL MODEL. *INVEST RADIOL* 40:126- 133.

40. **KNOPFLE, E., M. HAMM, S. WARTENBERG AND K. BOHNDORF.** 2003. CT IN URETEROLITHIASIS WITH A RADIATION DOSE EQUAL TO INTRAVENOUS UROGRAPHY: RESULTS IN 209 PATIENTS. *ROFO FORTSCHR GEB RONTGENSTR NEUEN BILDGEB VERFAHR* 175:1667-1672.

41. **KRIZ, W.** 1994. NIEREN UND HARNABLEITENDE ORGANE, PP. 25-68. *IN* D. DRENCKHAHN AND W. ZENKER (EDS.), MAKROSKOPISCHE ANATOMIE, EMBRYOLOGIE UND HISTOLOGIE DES MENSCHEN / BENNINGHOFF. URBAN UND SCHWARZENBERG, MÜNCHEN; WIEN; BALTIMORE.

42. **KRÖPFL, D. AND A. VERWEYEN.** 2003.
HARNLEITERANOMALIEN, PP. 438- 451. *IN* M.K.
JOCHAM D. (ED.), PRAXIS DER UROLOGIE IN ZWEI
BÄNDEN. GEORG THIEME VERLAG, STUTTGART; NEW
YORK.

43. **LANG, E.K., R.J. MACCHIA, R. THOMAS, G. RUIZ-
DEYA, R.A. WATSON AND F. RICHTER.** 2002.
COMPUTERIZED TOMOGRAPHY TAILORED FOR THE
ASSESSMENT OF MICROSCOPIC HEMATURIA. *J UROL*
167:547-554.

44. **LAUBENBERGER, J. AND T. LAUBENBERGER.** 1999.
COMPUTERTOMOGRAPHIE, PP. 326-354. *IN* J.
LAUBENBERGER (ED.), TECHNIK DER
MEDIZINISCHEN RADIOLOGIE. DEUTSCHER ÄRZTE-
VERLAG GMBH, KÖLN.

45. **LEONHARDT, H.** 1991. HARNORGANE, PP. 252-271. *IN*
W. KAHLE, H. LEONHARDT, W. PLATZER AND G.
SPITZER (EDS.), TASCHENATLAS DER ANATOMIE.
GEORG THIEME VERLAG, STUTTGART; NEW YORK.

46. **LEVINE, J.A., J. NEITLICH, M. VERGA, N.
DALRYMPLE AND R.C. SMITH.** 1997. URETERAL
CALCULI IN PATIENTS WITH FLANK PAIN:
CORRELATION OF PLAIN RADIOGRAPHY WITH
UNENHANCED HELICAL CT. *RADIOLOGY* *204*:27-31.

47. **LIU, W., S.J. ESLER, B.J. KENNY, R.H. GOH, A.J.
RAINBOW AND G.W. STEVENSON.** 2000. LOW- DOSE
NONENHANCED HELICAL CT OF RENAL
COLIC:ASSESSMENT OF URETERIC STONE DETECTION
AND MEASUREMENT OF EFFECTIVE DOSE
EQUIVALENT. *RADIOLOGY* *215*:51-54.

48. **MAHER, M.M., K.S. JHAVERI, B.C. LUCEY, D.V. SAHANI, S. SAINI AND P.R. MUELLER.** 2001. DOES THE ADMINISTRATION OF SALINE FLUSH DURING CT UROGRAPHY (CTU) IMPROVE URETERIC DISTENTION AND OPACIFICATION? A PROSPECTIVE STUDY. *RADIOLOGY* 221:500.
49. **MCCOLLOUGH, C.H., M.R. BRUESEWITZ AND T.J. VRTISKA.** 2001. IMAGE QUALITY AND DOSE COMPARISON AMONG SCREEN- FILM, COMPUTED, AND CT SCANNED PROJECTION RADIOGRAPHY: APPLICATIONS TO CT UROGRAPHY. *RADIOLOGY* 221:395- 403.
50. **MCNICHOLAS, M.M., V.D. RAPTOPOULOS, R.K. SCHWARTZ, R.G. SHEIMAN, A. ZORMPALA, P.K. PRASSOPOULOS, R.D. ERNST AND J.D. PEARLMAN.** 1998. EXCRETORY PHASE CT UROGRAPHY FOR OPACIFICATION OF THE URINARY COLLECTING SYSTEM. *AJR AM J ROENTGENOL* 170:1261-1267.
51. **MCTAVISH, J.D., M. JINZAKI, K.H. ZOU, R.D. NAWFEL AND S.G. SILVERMAN.** 2002. MULTI-DETECTOR ROW CT UROGRAPHY: COMPARISON OF STRATEGIES FOR DEPICTING THE NORMAL URINARY COLLECTING SYSTEM. *RADIOLOGY* 225:783-790.
52. **MEAGHER, T., V.P. SUKUMAR, J. COLLINGWOOD, T. CRAWLEY, D. SCHOFIELD, J. HENSON, K. LAKIN, D. CONNOLLY AND J. GILES.** 2001. LOW DOSE COMPUTED TOMOGRAPHY IN SUSPECTED ACUTE RENAL COLIC. *CLINICAL RADIOLOGY* 56:873-876.
53. **MENDELSON, R.M., D.E. ARNOLD-REED, M. KUAN, A.W. WEDDERBURN, J.E. ANDERSON, G. SWEETMAN, M.K. BULSARA AND J. MANDER.** 2003. RENAL COLIC: A PROSPECTIVE EVALUATION OF NON-ENHANCED SPIRAL CT VERSUS INTRAVENOUS PYELOGRAPHY. *AUSTRALAS RADIOL* 47:22-28.

54. **MILLER, O.F., S.K. RINEER, S.R. REICHARD, R.G. BUCKLEY, M.S. DONOVAN, W.B. GOFF AND C. KANE.** 1998. PROSPECTIVE COMPARISON OF UNENHANCED SPIRAL COMPUTED TOMOGRAPHY AND INTRAVENOUS UROGRAM IN THE EVALUATION OF A CUTE FLANK PAIN. *UROLOGY* 52:982-987.
55. **MÜLLER- LISSE, G.U., U.L. MÜLLER- LISSE, J. HINTERBERGER, P. SCHNEEDE AND M. REISER.** 2003. TRI- PHASIC MDCT IN THE DIAGNOSIS OF UROTHELIAL CANCER. *EUR J RADIOLOG* 13:146- 147.
56. **MÜLLER- LISSE, U.L., N. HOLZKNECHT, G.U. MÜLLER- LISSE, M. REISER AND A. HOFSTETTER.** 1999. MR- UROGRAPHIE: UNTERSUCHUNGSTECHNIK UND EINSATZMÖGLICHKEITEN. *UROLOGE* 39:197-202.
57. **NAWFEL, R., P. JUDY, A. SCHLEIPMAN AND S. SILVERMAN.** 2004. PATIENT RADIATION DOSE AT CT UROGRAPHY AND CONVENTIONAL UROGRAPHY. *RADIOLOGY* 232:126-132.
58. **NOLTE-ERNSTING, C., G. STAATZ, J. WILDBERGER AND G. ADAM.** 2003. MR-UROGRAPHY AND CT- UROGRAPHY: PRINCIPLES, EXAMINATION TECHNIQUES, APPLICATIONS. *ROFO FORTSCHR GEB RONTGENSTR NEUEN BILDGEB VERFAHR* 175:211-222.
59. **NOLTE-ERNSTING, C., J. WILDBERGER, H. BORCHERS, T. SCHMITZ- RODE AND R.W. GÜNTHER.** 2001. MULTI- SLICE CT- UROGRAPHY AFTER DIURETIC INJECTION: INITIAL RESULTS. *ROFO FORTSCHR GEB RONTGENSTR NEUEN BILDGEB VERFAHR* 173:176- 180.
60. **NOROOZIAN M FAU - COHAN, R.H., E.M. COHAN RH FAU - CAOILI, N.C. CAOILI EM FAU - COWAN, J.H. COWAN NC FAU - ELLIS AND J.H. ELLIS.** 2004. MULTISLICE CT UROGRAPHY: STATE OF THE ART. *BR J RADIOLOG*:S74-86.

61. **OLCOTT, E.W., F.G. SOMMER AND S. NAPEL.** 1997. ACCURACY OF DETECTION AND MEASUREMENT OF RENAL CALCULI: IN VITRO COMPARISON OF THREE-DIMENSIONAL SPIRAL CT, RADIOGRAPHY, AND NEPHROTOMOGRAPHY. *RADIOLOGY* 204:19-25.

62. **PERLMAN, E.S., A.T. ROSENFELD, J.S. WEXLER AND M.G. GLICKMAN.** 1996. CT UROGRAPHY IN THE EVALUATION OF URINARY TRACT DISEASE. *J COMPUT ASSIST TOMOGR* 20:620-626.

63. **PROKOP, M.** 2002. ÜBERBLICK ÜBER STRAHLENDOSIS UND BILDQUALITÄT IN DER COMPUTERTOMOGRAPHIE. *FORTSCHR RÖNTGENSTR* 174:631-636.

64. **PROKOP, M.** 2003. GENERAL PRINCIPLES OF MDCT. *EUR J RADIOLOG* 45:4-10.

65. **REED DUNNICK, N., C.M. SANDLER, E.S. AMIS, JR., J.H. NEWHOUSE AND R.W. MCCALLUM.** 1997. CONGENITAL ANOMALIES, PP. 15-43. *IN* C.W. MITCHELL (ED.), *TEXTBOOK OF URO RADIOLOGY*. WILLIAMS & WILKINS, BALTIMORE, MARYLAND.

66. **REED DUNNICK, N., C.M. SANDLER, E.S. AMIS, JR., J.H. NEWHOUSE AND R.W. MCCALLUM.** 1997. DIAGNOSTIC AND INTERVENTIONAL TECHNIQUES, PP. 44-85. *IN* C.W. MITCHELL (ED.), *TEXTBOOK OF URO RADIOLOGY*. WILLIAMS & WILKINS, BALTIMORE, MARYLAND.

67. **REED DUNNICK, N., C.M. SANDLER, E.S. AMIS, JR., J.H. NEWHOUSE AND R.W. MCCALLUM.** 1997. NEPHROCALCINOSIS AND NEPHROLITHIASIS, PP. 254-281. *IN* C.W. MITCHELL (ED.), *TEXTBOOK OF URO RADIOLOGY*. WILLIAMS & WILKINS, BALTIMORE, MARYLAND.

68. **REED DUNNICK, N., C.M. SANDLER, E.S. AMIS, JR., J.H. NEWHOUSE AND R.W. MCCALLUM.** 1997. PELVICALYCEAL SYSTEM, PP. 282-296. *IN* C.W. MITCHELL (ED.), TEXTBOOK OF URORADIOLOGY. WILLIAMS & WILKINS, BALTIMORE, MARYLAND.
69. **REED DUNNICK, N., C.M. SANDLER, E.S. AMIS, JR., J.H. NEWHOUSE AND R.W. MCCALLUM.** 1997. THE URETER, PP. 358-395. *IN* C.W. MITCHELL (ED.), TEXTBOOK OF URORADIOLOGY. WILLIAMS & WILKINS, BALTIMORE, MARYLAND.
70. **RIMONDINI, A., A. MORRA, M. BERTOLOTTO, M. LOCATELLI AND M. POZZI.** 2001. SPIRAL- CT WITH MULTIPLANAR RECONSTRUCTIONS (MPR) IN THE EVALUATION OF URETERAL NEOPLASMS: PRELIMINARY RESULTS. *RADIOL MED (TORINO)* 101(6):459-465.
71. **RULE, A.S., T.S. LARSON, E.J. BERGSTRALH, J.M. SLEZAK, J.S. J. AND F.G. COSIO.** 2004. USING SERUM CREATININE TO ESTIMATE GLOMERULAR FILTRATION RATE: ACCURACY IN GOOD HEALTH AND IN CHRONIC KIDNEY DISEASE. *ANN INTERN MED.* 141:929- 937.
72. **RUPPERT-KOHLMAYR, A.J., R. STACHER, K.W. PREIDLER, R. ZIGEUNER, G. PRIMUS, M. RICABONNA AND D.H. SZOLAR.** 1999. [NATIVE SPIRAL COMPUTERIZED TOMOGRAPHY IN PATIENTS WITH ACUTE FLANK PAIN--SENSE OR NONSENSE?]. *ROFO FORTSCHR GEB RONTGENSTR NEUEN BILDGEB VERFAHR* 170:168-173.
73. **RYDBERG, J., J. CHARLES AND P. ASPELIN.** 1998. FREQUENCY OF LATE ALLERGY-LIKE ADVERSE REACTIONS FOLLOWING INJECTION OF INTRAVASCULAR NON-IONIC CONTRAST MEDIA. A RETROSPECTIVE STUDY COMPARING A NON-IONIC MONOMERIC CONTRAST MEDIUM WITH A NON-IONIC DIMERIC CONTRAST MEDIUM. *ACTA RADIOL* 39:219-222.

74. **RYU, J.A., B. KIM, Y.H. JEON, J. LEE, J.W. LEE, S.S. JEON AND K.H. PARK.** 2001. UNENHANCED SPIRAL CT IN ACUTE URETERAL COLIC: A REPLACEMENT FOR EXCRETORY UROGRAPHY? *KOREAN J RADIOLOG* 2:14-20.
75. **SCHUBERT, G.E.** 1997. ABLEITENDE HARNWEGE UND URETHRA, PP. 193- 262. *IN* W. REMMELE (ED.), *PATHOLOGIE*. SPRINGER- VERLAG, BERLIN; HEIDELBERG; NEW YORK; BARCELONA; BUDAPEST; HONGKONG; LONDON; MAILAND; PARIS; SANTA CLARA; SINGAPUR; TOKIO.
76. **SIEVERS, J. AND J. NOLDUS.** 2004. ERKRANKUNGEN DER NIEREN UND ABLEITENDEN HARNWEGE INKLUSIVE HARNBLASE, ERKRANKUNGEN DER NEBENNIEREN- HARNLEITER, PP. 87-94. *IN* V. NICOLAS AND S.H. HEYWANG- KÖBRUNNER (EDS.), *UROGENITALTRAKT RETROPERITONEUM MAMMA*. SPRINGER- VERLAG, BERLIN; HEIDELBERG; NEW YORK.
77. **SILVERMAN, P.M., W.A. KALENDER AND J.D. HAZLE.** 2001. COMMON TERMINOLOGY FOR SINGLE AND MULTISLICE CT. *AJR AM J ROENTGENOL* 176:1135-1136.
78. **SMITH, R.C., A.T. ROSENFELD, K.A. CHOE, K.R. ESSENMACHER, M. VERGA, M.G. GLICKMAN AND R.C. LANGE.** 1995. ACUTE FLANK PAIN: COMPARISON OF NON- CONTRAST- ENHANCED CT AND INTRAVENOUS UROGRAPHY. *RADIOLOGY* 194:789-794.
79. **SMITH, R.C., M. VERGA, S.M. MCCARTHY AND A.T. ROSENFELD.** 1996. DIAGNOSIS OF ACUTE FLANK PAIN: VALUE OF UNENHANCED HELICAL CT. *AJR AM J ROENTGENOL* 166:97- 101.
80. **SOMMER, F.G., R.B. JEFFREY, G.D. RUBIN, S. NAPEL AND S.A. RIMMER.** 1995. DETECTION OF URETERAL CALCULI IN PATIENTS WITH SUSPECTED RENAL COLIC: VALUE OF REFORMATTED NONCONTRAST HELICAL CT. *AJR AM J ROENTGENOL* 165:509-513.

81. **SPIELMANN, A.L., J.P. HENEGHAN, L.J. LEE, T. YOSHIZUMI AND R.C. NELSON.** 2002. DECREASING THE RADIATION DOSE FOR RENAL STONE CT: A FEASIBILITY STUDY OF SINGLE- AND MULTIDETECTOR CT. *AJR AM J ROENTGENOL* 178:1058-1062.

82. **STAMM, G. AND H.D. NAGEL.** 2002. CT- EXPO- EIN NEUARTIGES PROGRAMM ZUR DOSISEVALUIERUNG IN DER CT. *ROFO FORTSCHR GEB RONTGENSTR NEUEN BILDGEB VERFAHR* 174:1570-1576.

83. **STATTAUS, J., M. FORSTING AND M. GOYEN.** 2004. NEUE TECHNIKEN IN DER COMPUTERTOMOGRAPHIE. *UROLOGE* 43:1391- 1396.

84. **TACK, D., S. SOURTZIS, I. DELPIERRE, V. DE MAERTELAER AND P.A. GEVENOIS.** 2003. LOW-DOSE UNENHANCED MULTIDETECTOR CT OF PATIENTS WITH SUSPECTED RENAL COLIC. *AJR AM J ROENTGENOL* 180:305-311.

85. **VAN BEERS, B.E., S. DECHAMBRE, P. HULCELLE, R. MATERNE AND J. JAMART.** 2001. VALUE OF MULTISLICE HELICAL CT SCANS AND MAXIMUM-INTENSITY-PROJECTION IMAGES TO IMPROVE DETECTION OF URETERAL STONES AT ABDOMINAL RADIOGRAPHY. *AJR AM J ROENTGENOL* 177:1117-1121.

86. **WEFER, A.E., J. WEFER, B. FRERICKS, M.C. TRUSS AND M. GALANSKI.** 2002. ADVANCES IN URORADIOLOGICAL IMAGING. *BJU INT* 89:477-487; QUIZ I-III.

9 Danksagungen

Ich möchte all denen herzlich danken, die durch ihre Unterstützung an der Entstehung dieser Arbeit mitgewirkt haben:

Herrn Prof. Dr. med. Dr. h. c. Maximilian F. Reiser, Direktor des Instituts für Klinische Radiologie der Ludwig- Maximilians- Universität München für die Überlassung des Themas meiner Dissertationsarbeit.

Herrn PD Dr. med. Ullrich Mueller- Lisse für die Aufnahme in seine Forschungsgruppe, seine Anregungen und die Korrektur der ihm vorgelegten Texte.

Herrn Dr. med. Thomas Meindl für sein Interesse am Voranschreiten dieser Arbeit und das konstruktive Arbeitsklima.

Frau Dr. med. Eva Coppenrath für ihre Unterstützung in den Bereichen Dosisberechnung und CT- Technik.

Den technischen Assistentinnen und Assistenten für die Durchführung der CT- Untersuchungen.

Der Abteilung für Urologie der LMU für die Erlaubnis zur Einsichtnahme in die Patientenakten.

Johanna Schuberl und meinen Eltern, die den Fortgang dieser Arbeit mit Geduld und Rücksichtnahme gefördert haben.

10 Lebenslauf

Persönliche Informationen:

Familienstand:	Ledig
Nationalität:	Deutsch
Geburtsort:	Freyung
Geburtsdatum	19.06.1977
Eltern:	Degenhart Paul und Agnes (geb. Eder)

Schulischer und beruflicher Werdegang:

1983 bis 1987	Grundschule Kumreut
1987 bis 1996	Gymnasium Freyung
06/1996	Allgemeine Hochschulreife
08/1996 bis 09/1997	Zivildienst an der Rettungswache des BRK in Grafenau und Ausbildung zum Rettungssanitäter
03/1998	Abschlussprüfung Rettungssanitäterausbildung
09/1997 bis 03/1998	Landwirtschaftslehre
04/1998 bis 11/2004	Medizinstudium an der Ludwig- Maximilians- Universität München
04/2000	Ärztliche Vorprüfung
03/2001	1. Staatsexamen
09/2003	2. Staatsexamen
11/2004	3. Staatsexamen
04/2001 bis 06/2005	Technischer Assistent an CT- und MRT- Geräten als studentischer Mitarbeiter in der radiologischen Gemeinschaftspraxis „Radiologie München“
01/2005	Approbation
Seit 07/2005	Assistenzarzt am Institut für klinische Radiologie der Ludwig- Maximilians- Universität München

